

성과증빙자료집

“지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간 내에 수행 가능한 솔루션 개발”

2022. 12. 31.

주관연구기관: (주)미래구조엔지니어링
공동연구기관: 세종대학교 산학협력단
공동연구기관: 피에스엔지니어링(주)

목차(성과증빙자료집)

1. 국내논문	1
1.1. 국내학술대회발표논문	1
1.2. 국내외 전문 학술지 게재 논문	15
2. 인력양성(석사)	42
2.1. 재학증명서	42
2.2. 학위수여예정증명서	43
3. 특허등록/출원	44
3.1. 특허증	44
3.2. 특허출원명세서	72
4. 소프트웨어 등록	219
4.1. 저작권등록증	219
5. 전문가 자문의견서	222
5.1. 전문가 자문의견서	222
6. 치장조적 보강기준 개발	227
6.1. 치장조적 보강기준	227

1. 국내논문

1.1 국내학술대회발표논문

- [증빙 1-1.1] 국내학술발표논문

Proceedings of KASS 2020 Conference
Vol. 16, No. 1 (통권 제16호), May 29, 2020

폴리에틸렌계 막과 GFRP를 통한 조적조 시스템의 구조 성능평가

Structural Performance Evaluation of Masonry Construction System Using
Polyethylene Membrane and GFRP

문 아 형*
Ahae, Moon

김 재 현**
Jaehyun, Kim

이 승 군***
Seungjun, Lee

이 기 학***
Kihak, Lee

Abstract

The aging of many unreinforced masonry buildings which have been constructed since the 1970s shows that they are currently vulnerable to earthquakes. Furthermore, comparing to reinforced concrete buildings, disaster prevention measures, such as the development of seismic reinforcement techniques for masonry buildings, which account for 40% of domestic buildings are very poor now. Unreinforced masonry is weak in lateral forces and causes horizontal transfer cracking, resulting in structural damage. Hence the present study is focused on verifying the seismic performance of masonry which is reinforced with Atomic and Cast reinforcement, a fiber reinforcement that is easy to reinforcement, effective for increasing wall stiffness, and applicable to site reinforcement.

Keywords : Masonry, Polyethylene membrane, GFRP

1. 서론

1970년대 이후 건설된 많은 비보강 조적조 건축물의 노후화는 현재 지진에 취약함을 보여주고 있다. 또한 국내 건축물의 40%를 차지하는 비보강 조적조 건축물에 대한 내진 보강 기술 개발 등의 방재 대책은 철근 콘크리트 건축물과 비교해 보았을 때, 그 방재 대책이 굉장히 미흡한 상황이다. 비보강 순수 조적조는 수평력에 약한 특징을 보이며, 수평 전단 균열을 일으켜 구조물의 손상을 발생시킨다. 이에 본 연구는 보강이 쉽고, 벽체 강성 증가에 효과적이며 보강이 필요한 구조 부위에 적용 가능한 폴리에틸렌계 막인 Atomic과 유리섬유 보강재인 GFRP보강을 적용하여 조적조

의 내진 성능을 검증하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험 방법

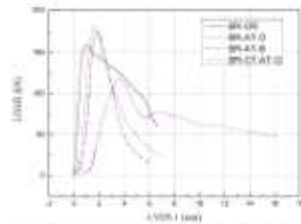
본 실험은 조적벽의 보강 방법에 따른 구조 성능을 알아보고자 비보강 조적벽 실험, Atomic 전면 보강, Atomic 양면보강, Cast보강과 Atomic 전면 보강 이렇게 4가지 보강 방법에 따라 압축강도 실험, 횡인장 실험, 사인장 전단 실험, 수평을 전단강도 실험을 실시하였다. 실험체는 보위재가 격벽방식을 이용하여 50kN의 액츄에이터로 가력되었다. 모든 시험체는 파괴를 때까지 하중이 한 번 가해졌다.

2.2 실험 결과

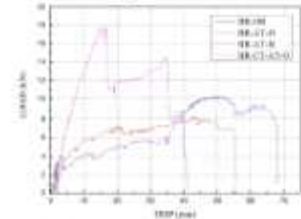
폴리에틸렌계 막인 Atomic과 유리섬유 보강재인 GFRP보강을 적용하여 진행한 4가지 구조성능

* 주저자, 학생회원, 세종대학교 대학원, 학사과정
School of Architecture, Sejong University
** 공동저자, 정회원, 에이엠엔지니어링 대표
***공동저자, 정회원, 에이엠엔지니어링 이사
****교신저자, 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수
School of Architecture, Sejong University
Tel: 02-3408-3296 Fax: 02-3408-3296
E-mail: lsuhaklee@sejong.ac.kr

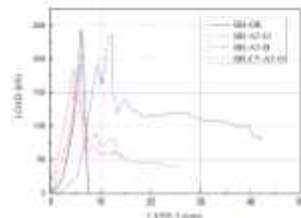
검사 결과는 아래의 하중-변위 그래프와 같다.



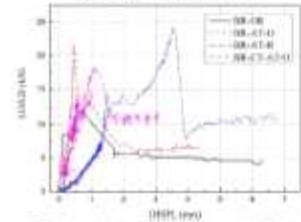
<Fig.1> Masonry Prism Compression Strength Test Result



<Fig.2> Masonry Prism Flexural Strength Test Result



<Fig.3> Masonry Wall Diagonal Tension Strength Test Result



<Fig.4> Mortar Shear Strength Test Result

3. 결론

조적벽은 구조체로서의 압축에서는 힘을 받지만 인장이나 전단에서는 매우 취약하다. 미세한 균열이 발생하면 큰 균열로 급격하게 발전되고 파괴로 이르는 취성적 파괴 양상을 보인다. 폴리에틸렌계 막인 Atomic 보강과 유리섬유인 GFRP 보강은 미세한 균열의 확장을 제어하고 에너지 소산을 발생, 연성적 측면에서 큰 변화를 가져온다. 또한 조적조의 취성 파괴에서 연성 파괴로 유도한다. 따라서 본 연구에서 폴리에틸렌계 막과 GFRP 시트로 보강하였을 때의 강성 증진 효과에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 횡인장과 사인장 전단 및 전단모드에서 강도가 증진하고 파괴모드가 취성에서 연성적 파괴모드로 바뀌는 것을 확인하였다. 둘째, 조적조를 보강을 통해 기존 구조체에 일체화시키는 경우 내진 성능을 향상시키고 이에 따라 인명의 손상을 가질 수 있는 조적조의 붕괴나 발락을 근본적으로 해결할 수 있을 것으로 보인다.

김시의 글

본 연구는 국토교통기술혁신연구사업의 연구비 지원(20CTAP-C158044-01)에 의한 결과임. 이에 감사드립니다.

References

1. 심경재, "중노보강을 통한 연내 방향의 조적조 사인장 전단강도 평가", 2019 대한건축학회 논문집-구조계, Sep, 2019.
2. 이창현, "조적개체 재료특성에 관한 실험적 연구", 2004 대한건축학회 논문집-구조계, Dec, 2004

1.1 국내학술대회발표논문

- [증빙 1-1.2] 국내학술발표논문

한국천체대중과학회 제2020년 학술대회

설명가능한 인공지능 기반의 하수관로 결함 자동 인식 시스템

Explainable AI based Sewer Defect Automatic Recognition System

남준영¹, 경선재², 고철태³, 박건철⁴, 이기혁⁵, 문현준^{*}

Jun-Young Nam, Seon-Jae Kyeong, Seol-Tae Ko, Keon-Chul Park, Ki-Hak Lee, Hyeon-Jun Moon

¹(05006) 서울특별시 중랑구 능동로, 세종대학교대학교 컴퓨터공학과

²(05006) 서울특별시 중랑구 능동로, 세종대학교대학교 건축공학과

³(01809) 서울특별시 마포구 세방산로, 서울디지털재단 데이터혁신팀

nampung0925@naver.com¹, nahnusjsj@gmail.com², kost@sdf.seoul.kr³, parkkc07@sdf.seoul.kr⁴,

Kihaklee@sejong.ac.kr⁵, hmoon@sejong.edu^{*}

요 약

하수관 시스템은 수질과 공공복지를 제공하는데 중요한 역할을 한다. 이런 하수관 관리를 위해 사용하던 방식은 검사관이 하수관 CCTV를 수동으로 관찰하여 하수관의 결함을 관측하고 심각성을 파악하였다. 이 방식은 많은 인적 자원과 시간을 소모해 효율성이 떨어진다. 이런 문제를 해결하고자 본 논문은 딥러닝(Deep Learning) 기반 하수관로 결함 자동 인식 시스템을 제안한다. 본 연구는 4가지로 구성한다. 1) 하수관로 CCTV 영상 내 결함에 대한 이미지를 추출해 데이터 셋을 구성한다. 데이터 셋을 구축할 때 결함 유형에 따라 10개의 클래스로 분류한다. 2) 구축한 데이터 셋을 기반으로 딥러닝 모델 기반 VGG-19 모델을 적용하여 트레이닝(Training)과 테스트(Testing) 과정이 진행되며 하수관로 결함 자동 인식 시스템의 인식율을 측정한다. 3) 딥러닝 모델에서 도출된 결과에 대해 사용자가 이해하지 못하는 블랙 박스(Black Box) 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 XAI(Explainable Artificial Intelligence) 모델을 사용한다. 4) 하수관로 시스템을 구현하였으며 하수관로 결함에 대한 결과는 결함 부위와 해당하는 클래스를 PDF 형태의 보고서로 출력한다.

키워드: 하수관 결함, CNN, 딥러닝, CCTV, 컴퓨터 비전, 영상처리

1. 서론

하수관로와 같은 콘크리트 구조물에는 건설 시간, 비용, 유지보수 비용 등 많은 한계, 비용, 시간이 필요하다. 하수관을 적절하게 관리하지 않는다면 수질 문제, 오수, 빗물 등의 문제로 심각한 인명 피해를 초래할 수 있다. 이런 문제가 발생하지 않기 위해 하수관로의 관리가 중요하다.

이전의 하수관 관리는 검사관이 직접 하수관을 살펴 검사하거나 CCTV 영상을 수동으로 결함을 관측하고 하수관로의 상태의 심각성에 따라 유지보수하는 방식을 사용하였다. 이 방식은 검사관의

경험 부족이나 과로로 인해 실수가 발생할 수 있다. 그러나 최근에는 로봇과 스캐너 장치[1]를 활용하여 하수관로 검사 및 유지보수에 사용되어 비용도 절감하고 검사의 효율성을 높이고 있다. 로봇에 의해 기록된 CCTV 영상은 비위생적 환경이나 사람이 접근할 수 없는 환경을 모니터링하기 효과적이다. 수집된 CCTV 영상은 방대한 양이기 때문에 딥러닝(Deep Learning)을 이용한 결함 자동 인식 시스템 구현이 중요하다.

본 논문은 이전 방법의 문제를 해결하고자 하수관로 CCTV 영상을 서울디지털재단으로부터 제공받았고 이를 활용해 딥러닝 모델인 VGG-19 모델

* 문현준

을 적용하여 하수관로 작동 인식 시스템을 개발하였다.

2. 관련 연구

2.1 하수관 결함 분류

컴퓨터 비전(Computer Vision)의 기술 발전으로 하수관로 결함 분류 발전이 이뤄지고 있다. Myrans 등 CCTV 영상에서 12가지 유형의 결함을 인식할 수 있는 자동 방법을 제안했다[2]. 먼저 영상으로부터 각 프레임에 대한 Feature Descriptor가 계산된다. 그런 다음 프레임의 내용을 분석하기 위해 두 개의 머신러닝(Machine Learning) 알고리즘이 구현되었다. Hidden Markov 모델과 Filtering 방법은 프레임 시퀀스에서 정보를 추출하여 예측을 위해 적용되었다[3]. AlexNet 모델은 테스트 데이터 셋에서 6가지 주요 결함 유형을 인식 할 수 있다. 하지만 이 모델의 성능은 클래스 간 이미지의 불균형 분포에 영향을 받는다[4].

2.2 Explainable Artificial Intelligence (XAI)

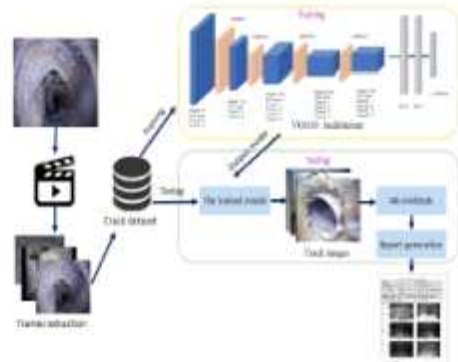
XAI는 AI 모델이 내린 결정을 해석하고 이를 사용자가 이해하기 쉽게 만드는 방법과 접근 방법을 말한다. 블랙 박스 문제를 해결하기 위해 XAI 모델을 적용하여 사용자의 이해를 돕는다. 구현하기 쉽고 일반적인 XAI 방법은 CAM (Class Activation Map), 레이어 활성화 시각화, Grad-CAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping)이다. CAM은 마지막 컨볼루션 레이어(Convolutional Layer)를 통해 얻은 특징 맵에서 GAP (Global Average Pooling)를 수행하고 그 값을 Softmax에 넣어 최종 값을 얻은 결과이다[5].

3. 제안 방법

3.1 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 하수관로 자동 인식 시스템 구조는 [그림 1]과 같다. CCTV 영상에서 Frame들을 추출하고 추출된 이미지들을 활용해 데이터베이스를 구축한다. 하수관로 결함 유형에 따라 10개의 클래스로 분류하고 해당 클래스에 따라 데이터를 저장한다. 수집한 데이터를 이용해 트레이닝(Training) 과정을 수행하게 되고 사용 모델은 딥러닝 모델 중 VGG-19 모델을 사용한다. 트레이닝된 모델을 사용해 테스트(Testing) 과정을 수행하게 된

다. 테스트 과정을 통해 하수관 결함 자동 인식 시스템에 대한 인식율을 측정한다. 딥러닝 모델들은 결과에 대한 과장을 파악하기 어렵기 때문에 이를 해결하기 위해 XAI 모델을 사용하여 도출한 결과에 대해 시각화해 사용자의 이해를 돕는다. 또한, 제안하는 시스템의 결과로 CCTV 내 하수관로 결함에 대한 이미지와 이미지의 클래스 명이 PDF 형식으로 저장한다.



(그림 1) 하수관로 자동 인식 시스템 구조

3.2 결함 자동 인식을 위한 VGG-19 모델

본 연구에서는 하수관 자동 인식을 위해 VGG-19 모델을 사용하여 트레이닝 과정을 수행한다. VGG-19 모델은 VGGNet에서 E 구조에 해당하며, 컨볼루션 네트워크(Convolutional Network)는 5개의 컨볼루션 레이어, 3개의 완전 연결 레이어(Fully Connected Layers), 소프트맥스(Softmax) 출력 레이어로 구성된다[6].

<표 1> 손상 유형 트레이닝 데이터 셋

클래스	수집한 이미지의 수
균열 길이	513
균열 원주	531
관 파손	564
인접관 돌출	538
이음부 결함	531
이음부 이물질(단락)	546
모사파괴	477
표면 손상	534
총 이미지	4,234

하수관로 자동 인식 데이터 셋은 하수관로 결함

에 따라 총 10개 클래스로 분류한다. 10개의 클래스는 손상 유형 8개의 클래스와 비 손상 유형 2개의 클래스로 나눌 수 있다. 손상 유형은 [표 1]과 같고 비 손상 유형에 해당하는 클래스는 총 2개로 하수관 내부(안) 하수관 외부(밖)으로 데이터 셋을 구성한다. 수집한 이미지의 수는 내부 총 515장, 외부 총 545장이다.

테스팅 과정은 트레이닝된 모델을 사용하고 데이터 셋은 손상 유형 8개 클래스로 각 50장 총 480장이고 비 손상 유형에 해당하는 클래스는 2개이며 각각 50장씩 총 100장이다.

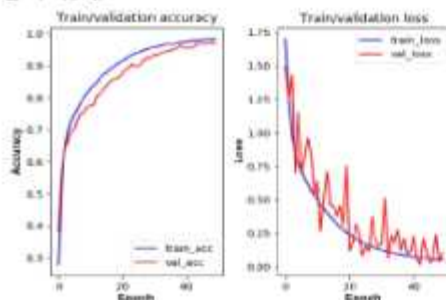
4. 실험 결과

4.1 실험 환경

본 연구의 실험을 위해 보유하고 있는 시스템 환경은 동일한 사양의 서버 2대가 사용되었고 CPU Intel i7 xEON 18Core, Ram 128 GByte, VGA NVIDIA PACAL TITAN Xp128GB X4, HDD 6TB, API Digite 5 Caffe를 사용하였다.

4.2 트레이닝/검증 인식률 및 손실 측정

딥 러닝 모델은 Python 기반의 오픈 소스(Open Source) API인 Keras를 기반으로 구축된다. Adam 최적화는 V-GG19 모델에서 주요 최적화 기능으로 사용된다. 처음 트레이닝 rate가 0.001로 설정되고 검증 오류에 따라 0.0001로 최소화 한다. 이 모델은 50 epoch와 batch 크기 64로 훈련되었다. [그림 2]와 같이 트레이닝 인식률 및 검증 인식률 90% 이상으로 증가하는 반면, 손실(Loss)은 epoch가 20 이후, 0.25 미만으로 감소한다. 인식률과 손실은 97.6%이고 0.1 손실일 때 점차 개선되는 것을 확인할 수 있다.



(그림 2) Training/Validation 인식률 및 손실 결과

4.2 하수관 결함 자동 인식 시스템 인식률 측정

아래 [그림 3]은 제안한 시스템의 인식률을 나타낸다. 테스트 데이터 셋 이미지는 50장을 사용하였고 총 10개 클래스에 대한 인식률을 살펴보면 균열 길이, 균열 원주, 관 파손, 연결관 돌출, 이음부 결함(이탈), 토사퇴적, 표면 손상, 내부, 외부 각각 96%, 86%, 94%, 90%, 98%, 98%, 98%, 98%, 100%의 인식률을 확인할 수 있다. 평균 인식률은 95.2%이다.

클래스	균열 길이	균열 원주	관 파손	연결관 돌출	이음부 결함	토사 퇴적 (이탈)	표면 파손	내부	외부	인식률
균열 길이	0	48	0	0	0	1	0	0	1	96%
균열 원주	48	0	0	0	1	0	0	1	0	96%
관 파손	0	0	48	0	0	0	4	1	0	94%
연결관 돌출	0	0	0	47	0	2	0	0	1	94%
이음부 결함	0	0	0	0	47	1	2	0	0	98%
이음부 이탈	0	0	0	1	0	48	0	0	0	98%
토사 퇴적	0	0	0	0	0	0	48	0	1	98%
표면 파손	0	0	0	0	0	0	1	48	0	98%
내부	0	0	0	1	0	0	0	0	49	98%
외부	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100%
평균 인식률										95.2%

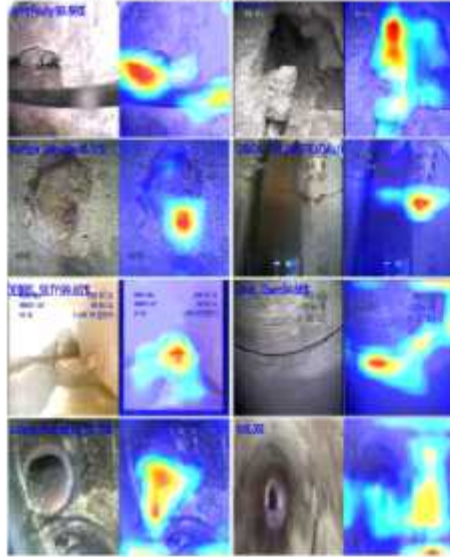
(그림 3) 하수관 결함 자동 인식 시스템 인식률

4.3 XAI 모델

XAI 방법인 Grad-CAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping) 모델을 사용하여 딥러닝 모델 결과에 대한 블랙 박스 문제를 해결하고 하수관의 결함 및 균열을 판단한다. Grad-CAM의 장점은 1) 예측 실패한 결과를 왜 실패했는지 설명해 줄 수 있다. 2) 적대적 이미지에 대해서도 적용이 잘 된다. 3) 데이터 셋의 편향을 동일시하여 모델을 일반화 할 수 있다.

아래 [그림 4]와 같이 하수관로 결함 이미지를 Grad-CAM 모델을 적용한 결과이다. 하수관의 균열/결함을 포함하고 있는 곳은 하늘색, 노란색 등 피색으로 표현되며 파손이 심각한 부위는 붉은색으로 진하게 표현되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 사

용자는 하수관로 결함 및 손상 인식에 대한 결과를 이해하는데 도움을 줄 수 있다.



(그림 4) Grad-CAM 모델을 활용한 XAI 모델[5]

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 하수관로 CCTV 영상을 활용하여 하수관로의 결함 자동 인식 시스템을 구축하였다. 제안하는 시스템의 데이터 구축을 위해 손상 유형 8개의 클래스와 비 손상 유형 2개의 클래스, 총 10개의 클래스로 분류하였다. 트레이닝 위해 딥러닝 모델인 VGG-19 모델을 적용하여 트레이닝 과정을 수행하였다. 테스트를 위한 데이터 셋은 트레이닝 데이터 셋과 동일한 10개의 클래스로 구성하였다. 테스트 과정을 수행해 본 연구에서 제안한 시스템의 인식률을 측정한 결과 95.2%의 인식률을 얻을 수 있었다. 또한, 실험 결과에 대해 사용자가 이해할 수 있게 XAI 모델인 Grad-CAM 모델을 적용하여 하수관로 결함 인식 이미지를 시각화하였다. 시각화로 인해 사용자는 결과에 대한 신뢰성 및 이해를 도울 수 있다는 장점이 있다.

향후 연구에서는 새로운 CCTV 영상에 대해 대량의 데이터 셋을 구성하여 시스템 인식률의 효과 검증이 필요할 뿐만 아니라 클라우드 서비스를 이

용하여 CCTV 영상, 데이터 셋 등 서로 공유할 수 있는 시스템을 구축하면 하수관로 관리 시스템을 더 향상시킬 수 있을 것이라 기대한다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2020R1A6A1A03038540) 및 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 기술특진 연구사업 (20CTAP-C158048-01)의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- [1] Haurum, J.B. and T.B. Moeslund, A Survey on Image-Based Automation of CCTV and SSET Sewer Inspections. Automation in Construction, 2020, 111: p. 103061.
- [2] Myrans, J., R. Everson, and Z. Kapelan, Automated detection of faults in sewers using CCTV image sequences. Automation in Construction, 2018, 95: p. 64-71.
- [3] Ye, X., et al., Diagnosis of sewer pipe defects on image recognition of multi-features and support vector machine in a southern Chinese city. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2019, 13(2): p. 17.
- [4] Cheng, J.C. and M. Wang, Automated detection of sewer pipe defects in closed-circuit television images using deep learning techniques. Automation in Construction, 2018, 95: p. 155-171.
- [5] Dang, L.M., et al., Face image manipulation detection based on a convolutional neural network. Expert Systems with Applications, 2019, 129: p. 136-168.
- [6] Zheng, Yufeng, Clifford Yang, and Alex Merkulov, "Breast cancer screening using convolutional neural network and follow-up digital mammography,"Computational Imaging III, Vol. 10009, International Society for Optics and Photonics, 2018.

1.1 국내학술대회발표논문

- [증빙 1-1.3] 국내학술발표논문

새로운 지오폴리머 복합재료의 양생환경에 따른 성능 연구

Proposing and Investigation of the Performance of the New
Geopolymer Composites Mixture with Curing and Non-curing Condition

팜 비 안 코 아*

Pham Vo Anh Khoa

이 기 학**

Lee, Kihak

ABSTRACT

The study proposes and develops the new base of geopolymer paste and mortar without curing, instead of curing in the oven with high temperature as usual. The content of fly ash and slag was used with 0-100% as well as the liquid/solid ratio of 0.5-1, the fine aggregate/solid ratio of 1-5 in the experiment. For comparison and evaluation, the two different curing conditions, at 80°C and non-curing were applied. In terms of compressive strength of geopolymer paste and mortar, the optimum recommendation for geopolymer was chosen.

1. Introduction

The disadvantage of the green and eco-friendly geopolymer material is curing condition to activate the chemical reaction and development of strength. Therefore, a new propose and approach for using widely this material for modern construction need to find out. The influence of source material fly ash and slag, the usage of liquid/solid ratio, the fine aggregate/solid ratio on the properties of geopolymer paste and mortar was evaluated in this work.

2. Experiment methodology

The geopolymer paste and mortar were mixed by using fly ash, slag, alkaline solution and fine aggregate as shown in Figure 1. There are 0-100% of fly ash, 0.5-1 of liquid/solid ratio and 1-5 of fine aggregate/solid ratio in the 30 mix proportions. The compressive test was carried out to obtain the strength of geopolymer composites at 28 days old.

3. Experimental results

Figure 2 and 3 described the influence of the quantity of fly ash and slag, curing and non-curing condition in the paste mixture. The greatest strength of geopolymer paste is 69.08 MPa by using 100% of slag and without high temperature condition. The increase of fly ash content leads to the decrease of compressive strength, happened in both curing conditions.

* 정희원, 세종대학교, 콘크리트/내진공학연구소, 박사과정

** 정희원, 세종대학교, 건축공학과, 교수, kihaklee@sejong.ac.kr

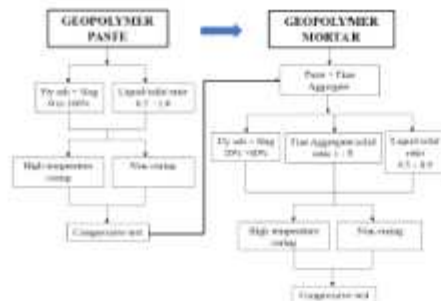


Figure 1. Experiment processing

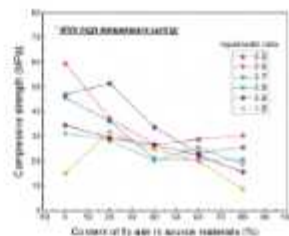


Figure 2. Strength of Paste (With curing)

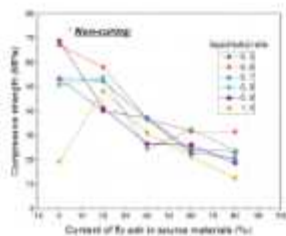


Figure 3. Strength of paste (Non-curing)

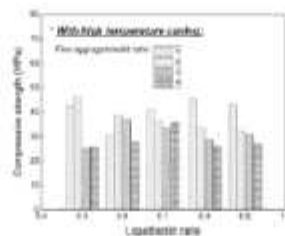


Figure 4. Strength of mortar (With curing)

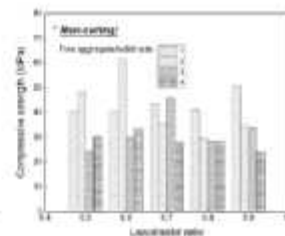


Figure 5. Strength of mortar (Non-curing)

Figure 4 and 5 illustrates the performance of geopolymer mortar with curing and non-curing. Generally, the specimens without curing show the better compressive strength than those of specimen cured at 80°C in the oven. The highest strength was obtained by using liquid/solid ratio of 0.6 and fine aggregate/solid ratio of 2.

4. Conclusion

This research shows the new and effective approach of mix proportion of geopolymer composites with non-curing condition, including paste and mortar, compared with the usual curing method at the high temperature. The optimum mixture was chosen and developed for the suitable geopolymer concrete.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통과학 기술진흥관 기술혁신 연구사업의 연구비지원 (20CTAP-C158044-02)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Davidovits J., Geopolymer - Chemistry and Application. (4th ed.), Institut Geopolymere, 2015.
2. Rafeet A., Vinu R., Soutos M., Sha W., Guidelines for mix proportioning of fly ash/GGBS-based alkali activated concretes. Construction and Building Materials, 2017; 147: 130-142.

1.1 국내학술대회발표논문

- [증빙 1-1.4] 국내학술발표논문

HPC의 압축강도 예측을 위한 Tree-기반 모델

Tree-based Models in Predicting Compressive Strength of HPC

니옌부루엣*

이 기 학**

Nguyen-Vu Luan

Lee, Kihak

ABSTRACT

This study presents the two tree-based models in predicting the compressive strength of high-performance concrete (HPC), namely Classification and Regression Trees (CART) and Random Forest (RF). The obtained results in terms of R^2 , RMSE, and MAE compared to previous method showed that the RF can provide a accurate solution for predicting the HPC strength.

1. Introduction

High-performance concrete (HPC) is classified as a concrete made of suitable and complex materials, which makes investigating its behavior a challenge. In previous research, a new predictive formulation for HPC strength using MARS method was proposed [1]. However, the predictability was conservative, therefore, this paper performed an application of tree-based approaches to improve the accuracy in the strength prediction of HPC including Classification and Regression Trees (CART) and Random Forest (RF).

2. Data description

A database of 981 HPC-tests was re-used from previous research [1]. It includes one output (CCS), and 8 input variables (cement, blast furnace slag, fly ash, water, superplasticizer, coarse aggregate, fine aggregate, and age).

3. Developed Tree-based models

Grid search method, an optimization solution, which was applied successfully in previous studies [2], was also used to determine the best hyperparameter for tree-based models. There is only one hyperparameter for CART model, complexity parameter, whose best value was determined to be 0.001, while the hyperparameters of RF model are *mtry*, *splitrule*, and *min.node.size* found to be 5, 'variance' and 2, respectively. The performance of HPC strength prediction for CART and RF models are depicted in Fig. 1 and 2, respectively. It can be seen qualitatively that the CART model tends to overfitting with many testing data points lie outside the margin of $\pm 25\%$, while the RF model perform a better prediction with almost data points are within the error range of $\pm 20\%$.

Table 1 presents the quantitatively comparison of predictive performance of various models.

* 정희원, 세종대학교, 콘크리트/내진공학연구소, 박사과정

** 정희원, 세종대학교, 건축공학과, 교수, kihaklee@sejong.ac.kr

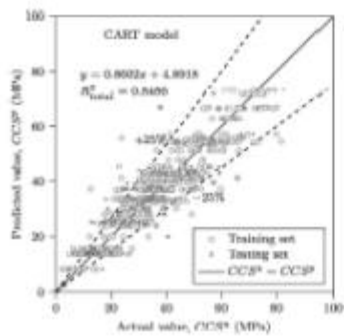


Figure 1. Predictive performance of CART model.

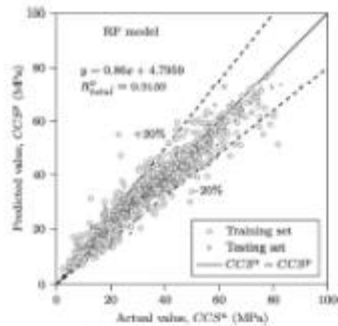


Figure 2. Predictive performance of RF model.

The RF model shows the best performance with the highest value of 0.911 R^2 and lowest values of 6.47 MPa $RMSE$ and 12.72% $MAPE$ entire data, following by the MARS model.

The findings show that the most significant influence variables are the Age of concrete and Cement content, following by water content (WC). Conversely, the fine aggregate (FA) is the least important variable.

4. Conclusion

Two tree-based models were applied to predict HPC strength successfully. The results revealed that the RF model provides better predictability of HPC compressive strength than the CART model and previous method - MARS model as well.

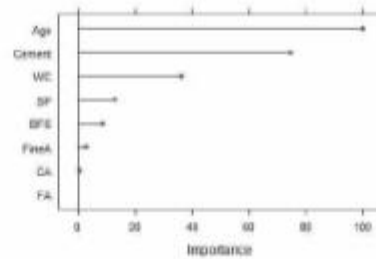


Figure 3. Variable importance obtained from RF model.

Table 1. Predictive performance of various models on training, testing and entire dataset.

Model	Training set			Testing set			Total		
	R^2	$RMSE$ (MPa)	$MAPE$ (%)	R^2	$RMSE$ (MPa)	$MAPE$ (%)	R^2	$RMSE$ (MPa)	$MAPE$ (%)
CART	0.868	6.12	15.99	0.763	7.89	20.41	0.847	6.47	16.87
RF	0.906	5.17	13.02	0.931	4.24	11.56	0.911	4.98	12.72
MARS [1]	0.868	6.13	15.6	0.888	5.49	12.02	0.872	6.00	14.88

Acknowledgement

This research was supported by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government (20CTAP-C158044-02).

References

1. Luat, Nguyen-Vu, and Kihak Lee. "A New Predictive Formulation for HPC Strength Using MARS Method." 한국콘크리트학회 학술대회 논문집 32.2 (2020): 195-196.
2. Luat, N.-V., Lee, J., Lee, DH, and Lee, K. "GS-MARS method for predicting the ultimate load-carrying capacity of rectangular CPST columns under eccentric loading." Computers and Concrete, Vol. 25, No. 1, pp. 1-14 (2020).

1.1 국내학술대회발표논문

- [증빙 1-1.5] 국내학술발표논문

Deep Learning based detection and segmentation for masonry structural analysis: crack length measurement

Hamil Na
Department of Computer
and Engineering
Sejong university
Seoul, Korea
ralpyrmail@gmail.com

Seoubin Choi
Department of Computer
and Engineering
Sejong university
Seoul, Korea
fairy_@kakao.com

Yong Nam Kim
Mirae Structural Engineers
Seoul, Korea
structurekim@gmail.com

Ki-Hak Lee
Department of
Architectural Engineering
Sejong university
Seoul, Korea
kihaklee@sejong.ac.kr

Hyeonjoon Moon*
Department of Computer
and Engineering
Sejong university
Seoul, Korea
hmoon@sejong.ac.kr

Abstract—Masonry structures account for a large proportion of the building stock worldwide. Presently, the structural conditions of such structures are mostly inspected manually, and which is expensive, laborious and subjective processes. As deep learning technique for computer vision advances, there is an opportunity to automate the visual inspection process using digital images. Several studies are in progress to automatically detect cracks in masonry structures using Deep Learning. However, it is important not only detecting a crack, but also measuring a length of the crack. This is because it is necessary to consider various factors required in the actual environment, such as calculating the cost of reinforcement work. In this paper, we propose the method that detects masonry cracks and measures the length of cracks with digital images. The aim of this study is to implement Deep Learning model for crack detection on masonry structure and to apply the method of crack length measurement additionally.

Keywords—Deep Learning, Image processing, Crack Segmentation, Crack Length Measurement

I. INTRODUCTION

A structure based on masonry bricks is one of the major building components along the world. Many historical and modern structures have been built in masonry bricks. Such structures have been found to be vulnerable to seismic tremor and therefore thoroughgoing damage assessment is required for suitable reinforcement work [1]. Detecting cracks occurring in a wall of the building structures are one of the essential inspection items. In particular, in the case of old buildings, wall cracks are intensifying, causing structural collapse and these cases are increasing, leading to casualties.

Manual inspection is the most usual practice due to the lack of reliable alternative and its simplicity. Even so, this inspection is expensive, laborious and subjective processes. It takes a lot of time and prices because the worker performs the inspection directly on the site. In addition, objective results cannot be expected since different results can be derived each time depending on the worker's capabilities or surrounding

environment [2]. To solve this problem, numerous studies have suggested computer vision and Deep Learning techniques to detect cracks in building structure [3][4].

Nevertheless, there are still things that workers must do manually. As one of them, the length of the crack must be measured for accurate inspection before reinforcement work. Reinforcement work is conducted, such as the injecting specific materials to repair cracks on the wall. Its cost and repair method change depending on the length of the crack.

This paper proposes an overall framework and methods for detecting and doing segmentation the cracks with a deep learning model and then measuring their length automatically. The paper is organized as follows: In Section II, we propose an overall framework and methods. First, the workflow of the framework and the applied methods to this topic will be explained. Section III introduces metrics for evaluating the performance of the proposed deep learning model and shows measured values (included the images of visualized result) in the experiment. Finally, Section IV concludes the paper.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Proposed overall framework

The proposed overall framework is shown in Figure 2. In summary, when an image is inputted into the framework, the crack of the image is detected and preprocessed through the proposed methods to output the number of detected cracks and the length of all of them.

First at all, an image is inputted to the deep learning model. This model, which has learned the features of cracks in the masonry wall using our dataset, detects cracks through segmentation in image. The result of this model is a gray scaled binary image. (1 in Fig.1).

Additionally, the Contour Hierarchy algorithm is used to limit the position of the detected crack on the binary image. In this process, a bounding box is generated in that cracks (2 in Fig.1).

Then, using Skeletonization method and Morphology operation, a thickness of the detected crack is transformed into 1 pixel for the accurate measurement of the length (3 in Fig. 1) and unnecessary noise on image is removed (4 in Fig. 1).

Finally, the value of the length of the crack that has been removed noise and transformed its thickness is calculated (5 in Fig. 1). Its length is the sum of detected pixels.



Fig. 1. Workflow of the proposed framework (contains the model and proposed methods)

B. Proposed model and methods

1) U-Net segmentation model

The U-Net [5] model is used for our framework. This model is a fully convolutional network-based model proposed for image segmentation in the biomedical field. The U-Net applied up-sampling and skip architecture of concepts extended than FCNs. The overall U-net architecture is shown in Figure 2. This showed excellent performance in several biomedical image segmentation problems using Data Augmentation with only a very small amount of training data.

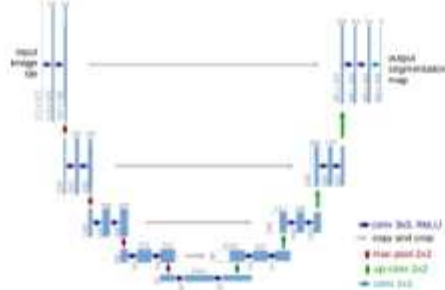


Fig. 2. The architecture of the U-Net segmentation Deep Learning model

In masonry wall crack segmentation problem, more accurate and sensitive model is required due to factors that hinder the function such as grout lines between each masonry brick and tiny stains, and the amount of data for training model is small. Therefore, we use a proven model in the biomedical field that requires high detailed, accuracy and the small number of data environment.

2) Contour Hierarchy algorithm

Contour [6] is boundary selection of an area having the same color or the same pixel value (intensity). It can be seen as a line connecting edge boundaries with the same color intensity.

In proposed framework, it was used to limit the area of segmented cracks and create bounding boxes. This focuses only on detected cracks except unnecessary area by limiting the area for high accuracy. Figure 3 shows an example of limiting the crack area of the results predicted by the segmentation model. There is an effect of removing unnecessary areas; other than detected cracks.

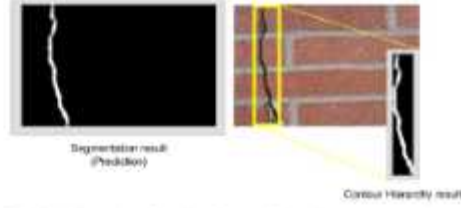


Fig. 3. An example of applying Contour Hierarchy to masonry cracks

3) Skeletonization method

The Skeletonization is a method of finding the skeletal centerline of a specific object in binary image [7] using the Distance Transform algorithm.

This method finds the centerline of the crack of the binary image predicted by the segmentation model and transform it into thickness of 1 pixel. This is because when measuring the length of a crack, thickness can be rather the obstacle. Figure 4 shows an example of the transformation of the detected crack using this method.

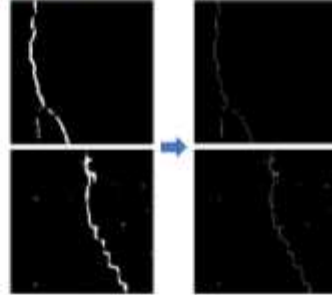


Fig. 4. Examples of applying the Skeletonization method to masonry cracks (on left side is ground-truth and on right side is result of the method)

4) Morphology operation

The Morphology operation is a morphological operation such as denoising, filling holes, and attaching broken lines in the field of image processing.

Among these well-known operations, the Opening and Closing were used to emphasize the centerline of the Skeletonization method's result and remove a noise around the line like Figure 5.



Fig. 5. Examples of applying the Morphology operations (on left side is ground-truth and on right side is result of the operation)

C. Dataset for training and testing the model

The dataset consisted of masonry wall's front-side images containing one or more cracks. Each image is labeled as did segmented the cracks.

A total of 1,000 images were used for the data, divided into 965 training images and 35 testing images. This dataset was used for deep learning model training and performance evaluation. In Figure 2, it can see the images and their mask images included in the dataset.

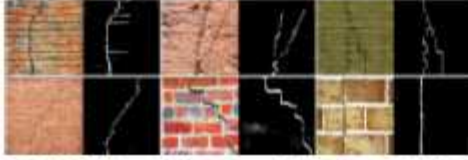


Fig. 6. Labeled images of the masonry crack dataset (original and mask)

III. EXPERIMENT AND RESULT

A. Metrics for evaluation of the model

The metrics used to measure an accuracy and evaluate a performance of the model are as follows: Jaccard Index, Dice Coefficient, Hausdorff Distance [8].

1) Jaccard Index

The Jaccard Index is a statistic used for gauging the similarity and diversity of sample sets. This measures similarity between finite sample sets and is defined as the size of the intersection divided by the size of the union of the sample sets in the following Equation 1. It is also generally called Intersection over Union (IoU).

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|} \quad (1)$$

In confusion matrices employed for binary classification, the Jaccard index can be framed in the following Equation 2. Where TP are the true positives, FP are the false positives, and FN are the false negatives and TN would be the true negatives.

$$\text{Jaccard index} = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (2)$$

2) Dice Coefficient

The Dice coefficient is a statistic used to gauge the similarity of two samples. Given two sets, X and Y, it is defined as following Equation 3. When applied to Boolean data, it can be written as following Equation 4.

In Boolean data(binary segmentation map), this metric is the same as F1 score, calculating from the precision and recall of the test.

$$DSC = \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|} \quad (3)$$

$$DSC = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} = F1 \text{ score} \quad (4)$$

3) Hausdorff Distance

The Hausdorff Distance measures how far two subsets of a metric space are from each other. This is the metric widely used in the segmentation problem and is used to solve matching problems. This is like finding the longest distance to a point on the other set based on one set of points. Given two point sets A and B, it is shown in Equation 5.

$$\delta_H(A, B) = \max(\delta_H^+(A, B), \delta_H^+(B, A)) \quad (5)$$

B. Experiment environment

It was trained the model with data consisted of binary images. For evaluating the performance of the model, ground-truth and model's prediction image were compared and tested using 3 metrics (Section III. A.). The model's training and testing were conducted at the workstation in Table 1.

TABLE I. WORKSTATION SPECIFICATION

Processor	Intel(R) Core(TM) i7-5820K CPU @ 3.30GHz (8 core)
Memory	12 x DIMM, Max. 768 GB, DDR4
GPU	NVIDIA GMD00 (GeForce GTX TITAN X) x 4

C. Results of the model

Since the performance of detection and automatic length measurement for masonry wall cracks depends on the accuracy of the segmentation model, the focus was on evaluating it.

1) Visualized results of the model

The ground-truth and highlighting images were created to visually evaluate the segmentation process. The model's segmentation prediction result is highlighted in green color on the images. We can intuitively check whether an area other than a crack is segmented or not.

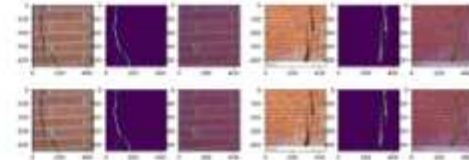


Fig. 7. Segmentation results of the masonry wall (Ground-truth and highlighting image of samples)

2) Results by metrics of the model

The model accuracy such as mean and standard deviation(std) were calculated for each metric simply, and the results are shown in Table 2.

TABLE II RESULTS OF THE MODEL BY METRICS

Metrics	Results	
	Mean	Standard deviation
Jaccard Index(JoU)	0.39327	0.18476
Dice Coefficient(F1)	0.573704	0.20876
Handorf Distance	160.26055	152.89548

D. Results of the proposed framework

The result of the proposed framework is the length of the crack segmented by the model. Figure 8 shows the result of the framework in which the masonry wall image was inputted.

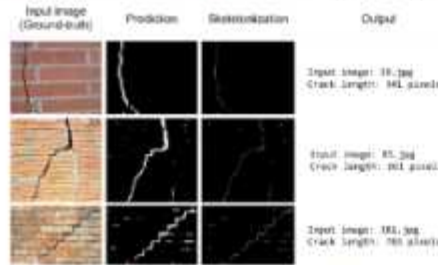


Fig. 8. Results of the samples from the proposed framework

It shows the input image, the segmentation image predicted by the model, the Skeletonization image that transformed the thickness of the crack to 1 pixel for measuring the length, and the actual result of the implemented framework.

The calculated crack length from the proposed framework is a set of pixels detected as cracks. If the position of this pixel is far from the position of another pixel, it is considered this pixel is not part of any cracks. These pixels are not calculated as crack lengths. The binary image highlighted by a blue square in Figure 9 is a visualization of pixels calculated by the crack length.

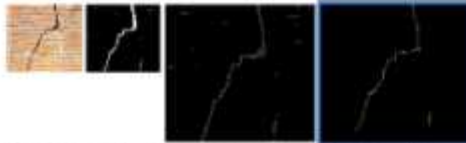


Fig. 9. An example of the case if it is actually calculated as crack length

IV. CONCLUSION

In this paper, we proposed the methods and framework for automatically measuring the length of masonry wall cracks. The deep learning model was applied to detect cracks and segmentation, and the Contour Hierarchy algorithm, Morphology operations and Skeletonization method were

used to measuring the cracks. Since performance of the proposed framework depends on the accuracy of the segmentation deep learning model, we focused on measuring and evaluating the accuracy of this model in the experiment. The accuracy was calculated by three metrics, of which Dice Coefficient (F1 score) was measured as 0.573.

Most worker manually measures the length of cracks for reinforcement work on the structure. These methods and frameworks proposed in this paper can be an alternative to measuring crack length only with images taken by the worker without a special equipment.

However, as explained above, the performance of the proposed framework is dependent on the segmentation model. Therefore, it is necessary to improve the accuracy of the model more. In addition, further study is also required to convert the length of pixel units into actual lengths such as centimeter and millimeter. In future studies, we plan to study to improve models for higher accuracy and convert them to actual lengths.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government (Grant 20CTAP-C158044-02). The authors would like to express sincere gratitude for their support.

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (No.2020RIA6A1A03038540)

REFERENCES

- [1] M. Tomazevic, "Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings", Imperial College Press, 1999
- [2] Moon, A., Shin, J., Moon, H., Lee, K., "Non-Structural Evaluation of Brick Walls Through AI Visual Inspection Network and Image Module", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.20, No.4, pp. 6-13, 2020
- [3] Das, D., Bal, I.E., Smyrou, E., Sarhosis, V., "Automatic crack classification and segmentation on masonry surfaces using convolutional neural networks and transfer learning", Automation in Construction, Vol.125, 2021
- [4] Dong, L., Minh, et al. "Deep Learning-based Sewer Defect Classification for Highly Imbalanced Dataset", Computers & Industrial Engineering, 2021
- [5] Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T., "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation", Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI, pp.234-241, 2015
- [6] P. Arbeláez, M. Maire, C. Fowlkes and J. Malik, "Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.33, No.5, pp.898-916, 2011
- [7] Abu-Ain, W., Abdullah, S. N. H., Batzineh, B., Abu-Ain, T., Omar, K., "Skeletonization Algorithm for Binary Images", Procedia Technology, Vol.11 pp.704-709, 2013
- [8] Z. Wang, E. Wang, Y. Zhu, "Image segmentation evaluation: a survey of methods", Artificial Intelligence Review, 2020

1.2 국내외 전문 학술지 개재 논문

- [증빙 1-2.1] 국내 학술지 개재 논문(비SCI)

특집기사

AI 이미지모듈을 통한 외관조사망도 작성 및 치장 조적벽의 건전도 평가

Non-Structural Evaluation of Brick Walls Through AI Visual Inspection Network and Image Module



문 아 해^{***}
Moon, Ahn



신 지 욱^{***}
Shin, Juk



문 현 준^{***}
Moon, Hyunjun



이 기 학^{***}
Lee, Kihak

1. 이미지를 이용한 딥러닝 개요

인공지능 중심의 4차 산업혁명이라는 이름에 걸맞게 최근 여러 분야에서 딥러닝을 이용한 연구가 진행되고 있다. 딥러닝 분야에서 가장 많이 활용되는 기술은 컴퓨터비전(Computer vision)이다. 컴퓨터비전은 시각적 세계를 해석하고 이해하도록 컴퓨터를 학습시키는 인공지능 분야이다. 카메라와 동영상에서 디지털 이미지와 딥러닝 모델을 사용하여 객체를 정확하게 식별하고 분류하는 학습을 진행하고, 이를 통해 컴퓨터의 관찰 대상 "인지"가 가능한 원리이다.

- * 세종대학교 건축공학과, 석사과정
Dept. of Architecture, Sejong University
- ** 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
- *** 세종대학교 컴퓨터공학과 교수, 공학박사
Dept. of Computer Engineering, Sejong University
- **** 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Dept. of Architecture, Sejong University

오늘날 카메라가 내장된 모바일 기기의 등장으로 사진과 동영상은 현대인이 매일 생성하는 데이터가 되었으며, 그 양이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이러한 데이터의 증가 및 CNN(Convolutional Neural Network)과 같은 다양한 컴퓨터비전 특화 알고리즘의 발달은 컴퓨터비전의 활발한 발전을 이끌어냈다.

컴퓨터 비전으로 인해 다양한 분야에서 운영 방식이 변화하고 있다. 제조업에서 도시계획까지 현실에 존재하는 사물에 대해 측정·분석하고 그 위에 수량화할 수 있는 데이터 파일을 만들 수 있게 한다. 비디오와 이미지 데이터를 활용하여 그 동안 측정이 불가능하다고 여겼던 것들을 가능하게 해준다. 특히 머신러닝의 발달은 컴퓨터비전의 활용도를 더욱 정확하고 독립적으로 만들어주었다. 비디오 및 카메라로 찍힌 이미지를 분석하는 기술은 이미 건축 및 건설 현장에도 자리를 잡고 있다.

건축·건설 현장에 컴퓨터비전을 적용하는 것은 안전성 개선, 비용 절감 및 효과적인 계획 결정으로 이

어져 생산성을 증대시킨다. 컴퓨터비전 기술은 건설 현장에서 이용되고 있는 예로 적재되어 있는 건축 자재의 양 추적을 통해 수량 부족 시 미리 경고하는 시스템이 있다. 또한 건설 현장에서 수작업이 많은 공정의 비디오 모니터링을 통해 작업의 완료 추정치를 생성하고 예상 공정 일정과 일치 여부를 판단하는데 도움이 되고 있다.

최근에는 저비용 고효율의 영상 기기 개발과 더불어 컴퓨터비전 기술의 광범위한 진전으로 구조 건전성 모니터링 기술이 많은 주목을 받고 있다²⁾. 비침투, 장거리, 신속 정확, 저비용 등의 장점을 지닌 컴퓨터비전 기술은 센서를 부착하여 진행한 기존의 구조 건전성 모니터링 기술에 대한 보완책으로 적극 고려되고 있다³⁾. 로컬 수준에서 다루어지는 컴퓨터비전 기반의 구조 건전성 모니터링 예시로는 균열, 파열, 박리, 녹 및 느슨한 볼트 감지와 같은 응용 프로그램이 포함된다. 글로벌 수준의 응용 분야로는 변위 측정, 구조 거동 분석, 진동서비스 가능성, 모달 식별, 손상 감지, 케이블 장력 모니터링, 입출력 정보를 활용한 구조 식별 등이 포함된다.

영상 분류, 검출, 영상 분할, 광학 흐름, 시간 추적 등 컴퓨터비전의 주제는 로컬 수준 및 글로벌 수준의 구조 건전성 모니터링과 매우 유사하다. 균열, 파열, 부식, 박리, 보이드 등의 국부적 상태 판정을 위한 로컬 지표는 이미지 분류, 감지와 같은 컴퓨터 기술을 사용하여 구조물 표면의 시각적 이미지와 구조 요소 내부를 반영하는 적외선 이미지에서 추출이 가능하다. 또한 변위, 진동, 모달 매개변수, 케이블 힘, 곡률, 프로필 등의 글로벌 지표는 광학적 흐름과 시각적 추적을 통해 얻을 수 있으며, 오브젝트 디텍션 기술을 이용하여 교량 구조물에 대한 차량 분배, 건물 구조물에 대한 거주 점유율 등의 외부하중도 구할 수 있게 한다.

2. 조적조 건축물의 구조 건전성 모니터링

2.1 기존의 구조 건전성 판단

시설물의 재난 피해 예방을 위해 안전점검 및 정밀

안전진단 시행 시 건축 구조물에 발생하는 균열을 파악하는 과정은 필수적인 검사항목이다. 균열 조사는 검사자가 현장에서 균열을 관찰하여 수행하는 방식으로 이루어지는데, 검사자의 역량이나 주변 환경에 따라 때때로 다른 결과가 도출되기 때문에 객관적 지표로는 타당하지 않다. 검사자가 수행하는 방식을 대체하기 위해 건축 구조물의 균열을 탐지하는 영상처리 기법이 많은 연구에서 제시되어 왔다^{4,5)}.

균열 탐지 기법에 대한 연구는 콘크리트 균열 인식 분야에 대한 연구가 대다수이다. 그러나 국내 중저층 건축물의 80% 이상이 조적조 건축물이며, 기존 치장 조적조를 이용한 건축물이 단독주택부터 고층공동주택까지 다양한 건물에 광범위하게 사용되는 현실을 고려할 때 조적조에 대한 균열 탐지 기법은 중요하게 고려될 필요가 있다. 본고에서는 이러한 추세에 따라 관련된 연구를 소개하고자 한다.

2.2 치장조적조 건축물의 구조 건전성 판단

2016년 경주 지진 및 2017년 포항 지진 발생 당시 구조물의 붕괴 사례는 많지 않았지만 치장조적조의 피해 사례는 매우 많았다. 특히 노후된 건물의 경우 지진이나 바람에 의한 외력이 없는 상태에서도 붕괴 사례가 증가하고 있으며, 인명사고로 이어지고 있다.

그러나 치장조적벽의 위험성 증가와 관계없이 기존 건물의 치장조적벽의 안전을 확보하기 위한 기술은 발전하지 못한 상황이다. 치장조적벽의 구조 건전성을 확인하기 위한 현장 조사에 활용할 수 있는 기준이나



(Fig. 1) Failure of the masonry walls

지침이 없기 때문에 단편적인 조사만 이루어지고 있다. 또한 현장 조사를 통해 얻은 자료를 분류하고 등급을 매기는 체계적인 시스템이 없어 조사 결과를 임의로 평가하는 수준에 머물고 있다.

개정된 내진기준에서는 치장조적벽의 벽 연결 철물(Wall tie) 등을 다루고 있어 신축 건물의 시공에는 좋은 참고가 될 수 있으나, 기존 건물에 어떻게 보강할 것인지를 다루고 있는 국내 기준이나 지침은 없다.

벽 연결 철물과 함께 치장조적의 자중을 지지할 수 있는 구조물이 확실치 않아 침하를 일으키는 경우 온·습도 변화에 따른 치장조적조의 면내방향 거동에 의한 균열이 치장조적벽의 하자 사례로 보고되고 있다. 면외방향 거동을 방지하는 방법으로는 Wall tie가 유효하지만 면내방향의 거동을 방지하는 요령은 아직 국내 기준상 명확하지 않아 동일한 실패를 반복하고 있다.

2.3. 건축물의 균열 탐지 기법

Kim, Jeon & Lee(2008)에 의해 근대 조적 건축물의 결함 특성에 관한 연구가 진행된 바 있다. 해당 연구에 따르면 조적벽의 대입된 앵커 상태를 외부에서 확인할 수 없었으며, 시간의 경과에 따라 앵커에 녹이나 부식, 지지력 저하 등이 발생하고 벽들의 강도가 저감되어 조적벽 전체에 수직 및 수평 균열이 발생함을 확인하였다⁹⁾. 현재까지 국내에서는 이러한 조적벽의 결함에 대해 전문가의 안전진단에 그 판단을 맡겼으나, 이에 대해 4차 기술 혁명에 따른 신기술 도입이 시급하다고 판단된다.

국내 손상 탐지 기법 중 3D 스캔과 영상 처리 기술 및 적외선 열화상 기법을 활용한 구조 결함 평가법을 비롯하여 3D 스캔을 통한 도면 및 데이터 처리에 대한 연구는 다수 진행되었지만 이를 활용한 조적벽 균열 탐사 및 보강에 대한 연구는 미미하다. 따라서 3D 스캔 기술과 영상 처리 기술을 도입하여 3D 형상 정보와 표면 영상데이터 획득하여 분석하고 구조해석을 실시할 필요가 있다.

3. 컴퓨터비전 기반의 조적조 건축물 균열 탐지 적용 방안

최근 국내에서는 열화상 기법을 활용한 콘크리트 균열에 대한 연구가 진행되었다. 적외선 열화상 기법을 이용하여 콘크리트의 균열부 온도 및 정상부 온도와 열 전달에 영향을 줄 수 있는 요인들을 파악하여 균열에 대한 DB를 생성하고, 이를 활용하여 균열의 깊이를 예측하는 알고리즘을 구축하는 연구가 진행되었다¹⁰⁾.

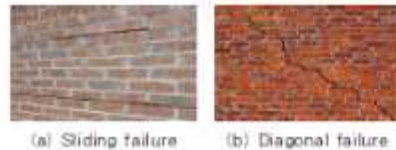
해외에서는 열화상 및 자외선을 이용한 카메라를 통한 이미지 추출 관련 연구가 국내에 비해 활성화되어 있으며¹¹⁾, 이를 활용한 머신러닝 알고리즘 개발이 진행되고 있다. 적외선 카메라를 통해 촬영한 이미지에 대한 노이즈를 제거하여 표면 결함을 탐지하는 기술을 통해 벽체 표면의 균열 탐사에 활용할 수 있도록 하였다¹²⁾.

건축물의 표면을 탐사하는 과정에서 드론을 활용하는 경우가 많다. 드론으로 정해진 구역의 벽체를 촬영한 후 하나의 벽체 이미지로 만들기 위해 이어붙이는 과정을 이미지 스티칭(Image stitching)이라 하며, (Fig. 2)는 브라운엔 로에 알고리즘(Brown-Lowe algorithm)을 이용하여 수행된 결과이다. 이 또한 건축물에 대한 컴퓨터비전의 활용가능성을 보여주고 있다.

치장조적조에서 외벽의 안전 여부를 진단하고 보강하는 기술은 내진성능 또는 내구성 확보 측면에서 중요하게 다루어져야 한다. 노후화 된 건물과 내구 연한을 넘어선 치장조적조는 다양한 문제를 일으키고 있다. 그러나 4차 산업혁명의 도래 후 이에 준하는 IT 기술을 접목하여 치장조적조의 균열에 대하여 단기간에 많은 정보를 신속하게 처리하려는 시도는 아직까지 없는 것으로 판단된다. 따라서 컴퓨터비전을 접목하여 치장조적조의 균열을 판단하는 기술에 대해 소개하고자 한다.



(Fig. 2) Image stitching using Brown-Lowe algorithms



(Fig. 3) Two types of failure of the masonry walls

3.1 치장조적조 균열 양상

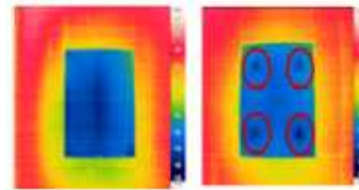
치장조적조의 균열은 구조적 결함, 설계적 결함, 시공적 결함에 이유로 나타난다. 각각의 결함은 외관상 균열의 형태로 이어진다.

건축 구조물의 내진 보강 및 설계에 있어서 수평내력과 연성능력은 구조 요소의 내진성능을 결정하는 가장 중요한 요인이다. 따라서 내진성능 향상은 구조 요소의 수평내력 증대와 연성능력 향상으로 정의할 수 있다. 조적벽체 역시 수평내력 증대와 연성능력 확보로 내진 보강이 가능하다. 비구조 요소로 사용되는 외벽 치장 벽체의 경우 구조 벽체와 치장 벽체 사이에 다양한 연결 철물을 이용하여 치장 벽체를 구조벽체에 지지하여 외력에 대한 안정성을 확보할 수 있다.

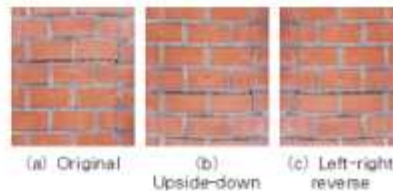
적절한 연결 철물 보강안을 도출해내는 딥러닝 프레임워크를 갖는 치장조적조 균열 탐지 기술을 나타내기 위해 균열 양상을 크게 3가지로 나누는 것이 딥러닝 분류 학습에 효율적이라고 보고된다. 이에 따라 치장조적조의 균열 양상을 수직 균열, 수평 균열, 대각 균열로 분류하였다.

3.2 열화상 모듈 기반 조적벽체의 탐사 및 이미지 데이터 분석

연결 철물의 탈락이 발생할 경우 치장조적벽체는



(Fig. 4) Anchor identification by the presence or absence of thermal bridge phenomenon



(Fig. 5) Image enhancement codes using ImageDataGenerator module in Keras

면의 거동을 하며, 이는 조적벽체의 내부면 현상과 심지어 합박으로 나타난다. 내부면 현상은 육안으로는 판단이 가능하지만 수평으로 촬영된 조적 이미지 상으로는 판단이 불가능하다. 이에 조적벽체의 손상 유형 중 내부면 현상에 대한 판단을 위한 지표로 열화상 카메라를 이용하는 것이 적절하다고 판단하였다. 연구 결과에 따르면 연결 철물을 통해 R-Value가

30~40% 가량 증가한다. 따라서 열전도 현상이 앵커에서 발생하는 열교 현상을 "역어용"한 열화상 카메라를 활용하여 앵커 개수를 인식하는 방법을 고안하였다.

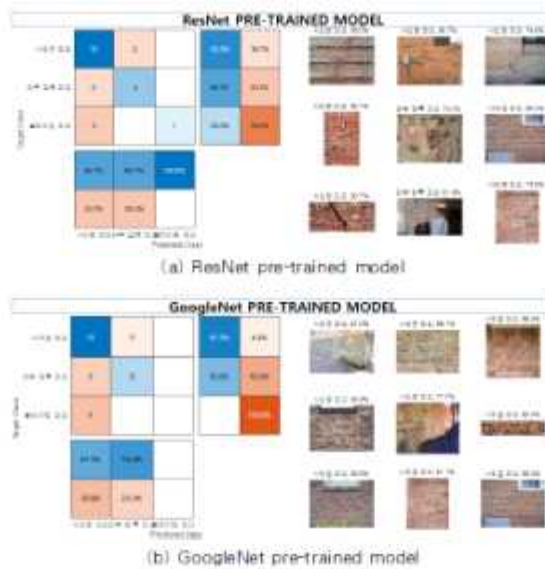
벽체 전체의 이미지 데이터를 확보하기 위해 드론을 활용하여 벽체와 3m 거리를 유지하고 지면으로부터 4m 떨어져 수평으로 이동하면서 일정한 속도로 촬영을 진행하였다. 연구에서 이용한 드론 기종은 DJI Phantom4로 최대 비행 시간이 30분이며, 4K 카메라 화질로 본 연구의 치장조적벽 이미지 데이터 확보에 적절하다고 판단하여 사용하였다. 치장조적벽 이미지 18장을 같은 규격으로 촬영한 후 이미지 스티칭(Image stitching)을 진행하였다. UAV와 열화상 모듈을 결합한 드론을 이용하여 안전하고 신속 정확한 조적벽 탐사를 실시하였고, 이를 바탕으로 현장 이미지 학습 데이터를 확보하였다. 확보된 이미지 학습 데이터를 활용하여 손상 유형 및 손상 수준에 대한 레이블링(Data labeling)을 실시하였다. 이를 통해 이미지

학습 데이터를 구축하였다.

또한 현장 이미지 데이터를 수집하는데 한계가 있으므로 파이썬 딥러닝 라이브러리인 Keras에서 제공하는 ImageDataGenerator 모듈을 활용하여 작은 데이터 셋으로 이미지 분류 모델을 설계하는 방안을 활용하였다.

3.3 손상 유형 및 수준에 대한 데이터 레이블링 Pre-Test 결과

딥러닝 알고리즘으로 6.7%의 오차율을 기록한 GoogLeNet과 152개의 깊은 레이어 층을 가진 모델로 오차율 3.57%를 기록한 ResNet 모델을 사용하여 분류된 사진 파일을 통해 학습을 진행하였다. 실제 값이 알려져 있는 데이터 세트에 대한 분류기의 성능을 시각화 하기 위해 정오 분류표를 사용해 결과를 나타내었다. (Fig. 6)에서 목표 클래스는 이미지와 실측 레이블이고, 출력 클래스는 네트워크가 이미지에 할당한 레이블이다. 좌표축 레이블은 클래스 레이블, 즉 사진



(Fig. 6) Results of pre-test using Matlab

장 파괴, 단부압축 파괴, 슬라이딩 파괴를 나타낸다.

ResNet을 활용한 Pre-trained model의 결과로 도출된 정오분류표를 살펴보면 사인장 파괴로 분류된 이미지의 68.7%가 실제로 사인장 파괴였으며, 단부 압축파괴로 분류된 이미지의 66.7%가 실제 단부압축 파괴 이미지로 판명되었다. 또한 슬라이딩 파괴로 분류된 이미지는 100% 슬라이딩 파괴임을 보여주었다.

GoogLeNet을 활용한 Pre-trained model의 결과로 도출된 정오분류표를 살펴보면 사인장 파괴로 분류된 이미지의 61.1%가 실제로 사인장 파괴였으며, 단부 압축파괴로 분류된 이미지의 75%가 실제 단부압축 파괴 이미지임을 보여주었다.

CNN 기반의 Pre-Test 결과에서 3개의 손상 유형에 대해 약 85%의 검증 정확도를 보였다. 위의 결과를 통해 인공지능기술을 이용한 치장조적 균열 양상 판단은 알고리즘의 지속적 업데이트를 통해 실무 적용이 가능한 것으로 입증되었다.

3.4 AI 기반의 대상 조적벽체에 대한 학습 데이터 구축 및 학습

이미지 학습 모델의 출력값을 데이터 학습 모델의 입력값으로 활용하는 방식으로 두 학습 모델을 결합한 딥러닝 모델을 구축하였다.

현장 치장조적 균열 탐사 과정은 드론을 수평방향으로 이동하며 정해진 규격으로 이미지를 촬영한다. 따라서 주어진 규격 이미지 내에서 균열의 여부를 판단하는 것이 중요하다. 최종 결과로 균열이 함께 표기된 이미지를 도출하는 것이 본 과정의 목표였으며, 이에 알맞은 이미지 데이터를 확보하는 것이 중요하였다.

이미지 데이터 학습은 조적 이미지 상에서 균열의 위치를 따로 표기하여 정답을 알려주는 지도학습(Supervised learning)을 이용하였다.

이미지 상 균열의 위치를 직접 표기하여 균열의 클래스(균열의 양상)를 정의하는 라벨링 작업인 이미지 어노테이션(Image annotation)을 실행한 후 Json 파일 형식으로 저장하였다. 이는 추후 균열 유형 분류 모델 학습 시 유용할 계획이다.



(Fig. 7) Diagram of the flow of a deep learning framework for determining decorative masonry wall cracks

Pre-Test를 통해 성능이 좋은 것으로 판명된 ResNet 모델을 활용하여 학습을 진행하였다. ResNet 모델은 152개의 레이어로 구성된 매우 깊은 네트워크 모델로 잔차(Residual)를 최소화한다는 특징을 갖고 있다. 파이썬 딥러닝 프레임워크 중 하나인 파이토치(Pytorch) 라이브러리를 활용하여 모델의 이미지 학습을 진행하였으며, 학습을 마친 후 손실율(Loss rate)이 약 0.0684의 값으로 나왔다.

이번 학습은 조적 균열 이미지만을 사용하여 진행된 학습이 아니므로 추후 현장 균열 이미지 데이터를 추가하여 진행할 필요가 있다고 판단되었다. 학습이 끝난 후 현장 이미지로 평가를 진행하였을 때 균열이 뚜렷한 이미지는 균열 양상이 마스크 이미지로 도출되었으나, 현장 사진 중 균열이 미세한 이미지는 균열 양상이 제대로 파악되지 않았다. 따라서 추후 꾸준한 현장 데이터 구축 및 학습으로 개선될 여지가 충분할 것으로 사료된다.

4. 결론

급속도로 기술이 변화하고 발전하는 오늘날 일상생활 속에서 컴퓨터비전 기술을 습득하는 것은 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었다. 글로벌 리서치 기업인 Tractica의 리포트에 따르면 컴퓨터비전 시장은 2025년까지 25.2억 달러에 달할 것이라 예측하였다. 컴퓨터비전 프로세스가 여러 산업의 운영 방식 자체를 바꾸



(Fig. 8) Masking of cracks using crack images

고 있다는 것은 의심할 여지가 없다. 컴퓨터비전 기술을 도입함으로써 인력과 다른 리소스를 더욱 스마트하게 배치할 수 있으며, 산업의 현장 상황 인식을 향상시키고 있다. 건설 산업에서도 컴퓨터비전 기술을 도입하여 장점을 적극 활용한다면 더 큰 시장 영역의 확보와 산업의 고도화를 가져오게 될 것이다.

근래에 건축물의 유지보수관리 및 안전관리에 컴퓨터비전을 적용하는 시도가 점점 늘어나고 있다. 이를 통해 구조물의 실시간 거동 분석이 가능해지고 있으며, 인력과 시간을 감축시킬 수 있게 되었다. 특히 구조물에 발생한 손상을 탐지하는 연구는 구조물 유지관리를 기존의 3D 업종에서 횡단 기술 집약적인 분야로 탈바꿈 하는 기틀을 마련해주고 있다.

5층 이하 중저층 건축물에 치장조작이 적용된 많은 노후 건축물의 안전성 판단을 위한 지표로 컴퓨터비전 기술을 활용하는 것은 치장벽체의 안전 여부를 신속하게 확인하고 보강의 우선순위를 결정하는데 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 학술기사는 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진연구(R&D)사업(1615011595)으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Ahn, E., Kim, H., Gwon, S., Sim, S. H., Lee, K. M., & Shin, M., "Evaluation of Crack-Repairing Performance in Concrete Using Surface Waves", *Journal of the Korean*

- Recycled Construction Resources Institute*, Vol.5, No.4 pp.496~502, 2017, doi: 10.14190/JRCR.2017.5.4.496
2. Lee, C. H., & Moon, H., "Artificial Intelligence-based Inspection Case for Public Facilities", *Vol.68, No.9, pp.48~56, 2020*
3. Hassan, S. I., Dang, L. M., Min, K. B., Nam, J. Y., & Moon, H., "Damage Detection and Classification System for Sewer Inspection using Convolutional Neural Networks based on Deep Learning", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.22, No.3, pp.451~457, 2018, doi: 10.6109/Jkice.2018.22.3.451
4. Lee, B. Y., Kim, Y. Y., & Kim, J. K., "Development of Image Processing for Concrete Surface Cracks by Employing Enhanced Binarization and Shape Analysis Technique", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.17, No.3, pp.361~368, 2005, Retrieved from http://www.jkci.or.kr/AURIC_OPEN_temp/RDOC/kci01/kcit_200506_007.pdf
5. Kim, T. Y., Jeon, B. O., & Lee, M. K., "A Study on the Defect Characteristic of Masonry Building in Modern Age of Korea", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.24, No.5, pp.117~124, 2008
6. Korea University, (2019). 15층 이상 고층건물의 길이 50mm급 구조체 손상 평가를 위한 UAV 및 열화상 모듈 기반 SMART SKY EYE 기술 개발 최종보고서 (Report No. 18CTAP-C129787-02), Republic of Korea: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201900002051&dbt=TRKO&rn=>
7. Henriques, M. J., & Roque, D. (2015). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Support to Visual Inspections of Concrete Dams, *Proceedings of the 2015 Second International*

- Dam World Conference, Portugal, pp.1~13,
Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/317620620_UNMANNED_AERIAL_VEHICLES_UAV_AS_A_SUPPORT_TO_VISUAL_INSPECTIONS_OF_CONCRETE_DAMS
8. Duque, L. (2017), UAV-Based Bridge Inspection and Computational Simulations (Master's Thesis), South Dakota State University, USA, Retrieved from <https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3190&context=etd>
9. Sham, J., Chen, N., & Long, L., "Surface crack detection by flash thermography on concrete surface", *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, Vol.50, No.5, pp.240~243, doi: 10.1784/insi.2008.50.5.240

1.2 국내외 전문 학술지 게재 논문

- [증빙 1-2.2] 국외 학술지 게재 논문(SCI)

Steel and Composite Structures, Vol. 40, No. 3 (2021) 461-479
https://doi.org/10.12989/SCS.2021.40.3.461

461

Ultimate axial capacity prediction of CCFST columns using hybrid intelligence models – a new approach

Nguyen-Vu Luat^{1,2a}, Jiuk Shin^{3b}, Sang Whan Han^{4c}, Ngoc-Vinh Nguyen^{5d} and Kihak Lee^{*1}

¹Department of Architectural Engineering, Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, South Korea

²Faculty of Civil Engineering, Thuyloi University, 175 Tay Son, Dong Da, Hanoi 100000, Vietnam

³Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea

⁴Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, South Korea

⁵Department of Infrastructure Engineering, Vietnam – Japan University, Luu Huu Phuoc, My Dinh 129000, Ha Noi, Viet Nam

(Received December 12, 2019; Revised October 29, 2020; Accepted June 16, 2021)

Abstract. This study aims to propose a new intelligence technique of predicting the ultimate capacity of axially loaded circular concrete-filled steel tube (CCFST) columns. A hybrid system based on one of the evolution algorithm – Genetic Algorithm (GA), fused with a well-known data-driven model of multivariate adaptive regression splines (MARS), namely G-MARS, was proposed and applied. To construct the MARS model, a database of 504 experimental cases was collected from the available literature. The GA was utilized to determine an optimal set of MARS' hyperparameters, to improve the prediction accuracy. The compiled database covered five input variables, including the diameter of the circular cross section (D), the wall thickness of the steel tube (t), the length of the column (L), the compressive strength of the concrete (f'_c), and the yield strength of the steel tube (f_y). A new explicit formulation was derived from MARS in further analysis, and its estimation accuracy was validated against a benchmark model, G-ANN, an artificial neural network (ANN) optimized using the same metaheuristic algorithm. The simulation results in terms of error range and statistical indices indicated that the derived formula had a superior capability in predicting the ultimate capacity of CCFST columns, relative to the G-ANN model and the other existing empirical methods.

Keywords: CCFST; concrete-filled steel tube column; evolutionary hybrid model; genetic algorithm; multivariate adaptive regression spline; ultimate capacity

1. Introduction

Concrete-filled steel tubular (CFST) columns are a type of composite structure, made of hollow steel tubes filled with concrete. A CFST column system has mechanical advantages over either reinforced concrete or pure steel member due to the confining effect of the surrounding steel, which provides increased strength and dramatically improves the ductility of conventional concrete. Moreover, the steel tube acts as a permanent formwork that can reduce construction time, providing additional cost-savings. As a result, CFST columns are being increasingly used throughout the world. They are employed in a variety of civil engineering structures, including high-rise buildings, subway platforms, bridges (Ghannam *et al.* 2004, Han *et al.* 2014, Zhao 2016, Chen *et al.* 2019), etc.

In general, CFST columns are commonly fabricated in two types of cross-sectional form, either square or circular

sections. The circular CFST (CCFST) columns have been the subject of considerable recent research interest because they exhibit superior capacities (i.e., high strength, high ductility, and energy absorption ability), and especially, ultimate axial capacity. Giakoumelis and Lam (2004) investigated 15 short CCFST columns under axial compression with various concrete compressive strengths and outer diameter to steel tube thickness ratios. Portolés *et al.* (2011) reported 24 tests conducted on slender CCFST columns filled with normal, high, and ultra-high strength concrete subjected both to concentric and eccentric axial loads. Dundu (2012) examined the behavior of 24 CCFST columns, loaded concentrically in compression to failure. His study suggested a possible cause for the failure mode of the overall flexural buckling was the large slenderness ratio, and was able to closely predict the ultimate load capacities compared to some design codes. Ekmekyapar and Al-Eliwi (2016) implemented an experimental study with 18 short, medium, and long CCFST columns. Their results implied some limitations in Eurocode-4 (2004) (EC4) when used to estimate the ultimate axial capacity of CCFST columns with relative slenderness ratios smaller than 0.4. Xiong *et al.* (2017a, b) carried out a comprehensive experimental program to investigate the behavior of CCFST columns with high and ultra-high strength material. Their obtained results indicated that ACI 318 (2014), AISC 360-10, AS4100 gave conservative predictions for the ultimate axial

*Corresponding author, Professor
E-mail: kihaklee@sejong.ac.kr

^aPh.D.

^bProfessor

^cProfessor

^dPh.D.

capacity of CFSTs with ultra-high strength concrete and high tensile steel. Eurocode-4 (EC4) also gave conservative results, if the confinement was not considered. Briefly, the ultimate axial capacity is a crucial mechanical index used to investigate the performance of CCFST columns under axial compression.

The methods for modeling CCFST column ultimate axial capacity predictions can be grouped into experimental, analytical, numerical, and soft computing based techniques. Axial compression tests are able to accurately monitor structural behavior, but they are very costly, time-consuming and laborious. Numerical simulations of CCFST columns applied to predict their ultimate load have not been sufficiently investigated (Evrgen *et al.* 2014, Han and An 2014), mainly because of the challenge of considering all of the complex conditions and material properties of a CCFST column, which behaves like composite material. Analytical methods are therefore a cost-effective choice to address this problem. These approaches are mainly based on empirical and/or semi-empirical methods, which can provide accurate results for the range of experimental data from which they were derived, but they may not fit well when applied to new external data (Beck *et al.* 2009, Li *et al.* 2015). These drawbacks also appear in various design codes which are considered in this study including ACI318-14 (2014), AISC 360-10 (2010), AS5100.6 (2004), and Eurocode 4 (2004). Table 1 summarizes such design codes provisions, showing that these above codes can not cover the whole range of material strength as well as the section slenderness ratio (D/t). Furthermore, the obtained results for the same problem may be inconsistent between these codes making it difficult to achieve a precise solution for the ultimate axial strength of CCFST columns.

In recent years, with the rapid development and application of artificial intelligence (AI) techniques, machine learning (ML) algorithms have been successfully employed as robust tools solving structural engineering problems, especially in the area of composite structures (Ahmadi *et al.* 2014, 2017, Moon *et al.* 2014, Güneş *et al.* 2016). By learning from dataset and then mapping input to output, the ML models can overcome the aforementioned limitations. All of the AI methods commonly use a single or hybrid computational intelligent approaches. The single models were proposed by Moon *et al.* (2014), Güneş *et al.* (2016), Ahmadi *et al.* (2014, 2017). Several models have been employed for hybrid computational intelligent methods (Ran *et al.* 2019, Sarir *et al.* 2019, Luat *et al.* 2020).

A survey of the published literature reveals that ML-based techniques have been increasingly used to predict the ultimate axial capacity of CCFST column. Ahmadi *et al.* (2014, 2017) and Nguyen *et al.* (2020) employed artificial neural networks (ANN) to predict the performance of the CFST columns. Güneş *et al.* (2016) utilized the gene expression programming (GEP) to derive a compact and one-stepped predictive expressions for predicting the structural response of CFST columns. However, most previous researches used individual ML model to train the regression problems by using experimental dataset, while there are some hybrid intelligent models (ML models optimized by

Table 1 Provisions of current design codes

Provisions	ACI318	AS5100	AISC360	EC4
f_c (MPa)	≥ 17.2	25 – 65	21 – 70	20 – 50
f_y (MPa)	≤ 345	230 – 400	≤ 525	235 – 460
$(D/t)_{max}$	$\leq \sqrt{8E_c/f_y}$	$\leq 82 = (250/f_y)$	$\leq 0.31 = (E_c/f_y)$	$\leq 90 = (235/f_y)$

metaheuristic algorithms), which are more accurate, robust and powerful. By training data, these models can determine the ML's optimal hyperparameters, which improves their accuracy and robustness is improved. Moreover, the proposed individual models cannot yet be employed for the full range of material properties (Avcı-karatas 2019), i.e., normal concrete, high, ultra-high strength concrete, high tensile steel, and for deriving an explicit formulation for practical design.

This paper thus explored a hybrid intelligence model, namely G-MARS, that is a combination between Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) and Genetic algorithm (GA) to improve the prediction accuracy of the ultimate axial capacity of CCFST columns. MARS, which was first proposed by Friedman (1991), is capable of fitting non-linear, complex relationships between a set of predictors and dependent variables. Implementing a MARS model requires users to choose tuning hyperparameters, which including the maximum number of terms M_{max} , maximum interaction between variables I_{max} , and penalty d . These hyperparameters are considered as essential features governing MARS model complexity and generalization. Therefore, obtaining an optimal model is essential to achieve MARS prediction accuracy. Friedman's recommendations for selecting hyperparameters have large value ranges, with actual hand-picked values reliant on the dataset that is being dealt with. Due to this drawback, other searching engines have been developed to solve the optimization problem such as cuckoo search, PSO, artificial bee colony (ABC), firefly algorithm, and genetic algorithm. Among these, GA is the one that has been most widely employed and applied to solve various engineering problems (Nikdel *et al.* 2014, Gomes *et al.* 2019, Luat *et al.* 2020). In this study, the Genetic Algorithm (GA) was utilized as an evolutionary search engine to obtain optimal MARS hyperparameter values.

As aforementioned, the G-MARS model was proposed to predict the ultimate axial capacity of CCFST column based on a database of 504 experimental results, with five input variables defined as the diameter of the circular cross-section (D), the wall thickness of the steel tube (t), the length of the column (L), the compressive strength of the concrete (f_c), and yield strength of the steel tube (f_y). Subsequently, the objective G-MARS model was then validated concerning a hybrid ANN model fixed with the same metaheuristic algorithm, named as G-ANN. In a further comparison, the obtained results from the G-MARS model were compared with some design codes and existing methods, which are briefly reviewed in the next section.

2. Overview of available studies and current design codes

For the sake of comparison, four typical codes are considered in this study such as ACI318-14 (2014), AISI 360-10 (2010), AS5100.6 (2004) and Eurocode 4 (2004), and some of their modifications, including Giakoumelis and Lam (2004) and Wang *et al.* (2017).

2.1 ACI318-14 (2014)

According to the ACI Committee 318 (2014), the ultimate compressive strength of a CFST column under an axial loading is calculated by Eq. (1). This formulation does not cover the effect of the thickness of the steel tube, concrete confinement and the interaction between the concrete core and steel tube (Nguyen *et al.* 2020), as follows:

$$N_u^{ACI} = 0.85f'_c A_c + f_y A_s \quad (1)$$

2.2 AISI 360-10 (2010)

The formula for determining the ultimate capacity of CCFST column stated in AISI360-10 (2010) is given as

$$N_u^{AISC} = \begin{cases} [0.658^{(N_0/N_{cr})}] N_0 & N_0 \leq 2.25N_{cr} \\ 0.877N_{cr} & N_0 > 2.25N_{cr} \end{cases} \quad (2)$$

where, $N_{cr} = \pi^2(EI_{eff})/L^2$, in which $EI_{eff} = E_s I_s + C_3 E_c I_c$; $C_3 = [0.6 + 2(A_s/(A_c + A_s))] \leq 0.9$;

- for compact section: $N_0 = f_y A_s + 0.95f'_c A_c$
- for non-compact section:

$$N_0 = f_y A_s + 0.95f'_c A_c - \frac{0.25f'_c}{(0.04E_s/f_y)^2} \left(\frac{D}{t} - \frac{E_s}{f_y} \right)^2$$

- for slender section: $N_0 = f_{cr} A_s + 0.95f'_c A_c$;

$$\text{and, } f_{cr} = \frac{0.72f_y}{\left(\frac{D}{t} \right)^{1.65}}$$

2.3 Eurocode 4 (2004)

The formulae presented in EC4 for predicting the compressive strength of a CCFST column are expressed as:

$$N_u^{EC} = \eta_a f_y A_s + f'_c A_c \left(1 + \eta_c \frac{t f_y}{D f'_c} \right) \quad (3)$$

where, η_a and η_c are the steel reduction factor and the concrete enhancement factor, respectively, defined as

$$\eta_a = 0.25(3 + 2\lambda) \leq 1.0, \\ \eta_c = 4.9 - 18.5\lambda + 17\lambda^2 \geq 0$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} \leq 0.5,$$

$$N_{pl} = f'_c A_c + f_y A_s$$

$$N_{cr} = \pi^2(EI_{eff})/L^2$$

$$EI_{eff} = E_s I_s + 0.6E_c I_c$$

2.4 AS5100.6 (2004)

Despite the different provisions, the formula to predict N_u provided by AS5100.6 is quite similar to that provided EC4, as follows:

$$N_u^{AS} = A_c \left(1 + \eta_1 \frac{t f_y}{D f'_c} \right) + \eta_2 f_y A_s \quad (4)$$

where

$$\eta_1 = 4.9 - 18.5\lambda + 17\lambda^2 \geq 0 \\ \eta_2 = 0.25(3 + 2\lambda) \leq 1.0,$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr}}{N_{pl}}},$$

$$N_{pl} = f'_c A_c + f_y A_s$$

$$N_{cr} = \pi^2(EI_{eff})/L^2$$

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_c I_c$$

2.5 Giakoumelis and Lam (2004)

Giakoumelis and Lam (2004) proposed a predictive equation for the axial load capacity of a CCFST column by investigating 15 specimens with various concrete strength and D/t ratios. This equation was revised based on the ACI/AS equation as follows

$$N_u = 1.3f'_c A_c + f_y A_s \quad (5)$$

2.6 Wang *et al.* (2017)

By using nonlinear regression analysis on a wide range of parameters, Wang *et al.* (2017) proposed a new simplified formula for predicting the compressive strength of a CCFST, as follows:

$$N_u = \eta_a f_y A_s + \eta_c f'_c A_c \quad (6)$$

where, the equations to predict the η_a – reduction factor (smaller than 1) for the strength contribution of the steel tube to consider the influence of concrete confinement and possible local buckling of the steel tube; and the η_c – amplification factor (larger than 1) to account for the increased strength of concrete due to the confinement effect, are given as:

$$\eta_a = 0.95 - 12.6f_y^{-0.85} \ln(0.14 D/t)$$

$$\eta_c = 0.99 + 5.04 - \left[2.37 \left(\frac{D}{t} \right)^{0.04} (f'_c)^{0.1} \right] \left(\frac{t f_y}{D f'_c} \right)^{0.51}$$

In Eqs. (1)–(6), f'_c – concrete compressive strength, f_y – the yield strength of steel tube; D – the column diameter; t – the steel tube thickness; L – the column length; A_s – the area of steel component; A_c – the area of concrete component; N_0 – the nominal axial compressive strength; N_{cr} – the critical elastic load; EI_{eff} – the effective elastic flexural stiffness, E_s and I_s – the elastic modulus and second moment of area of steel, respectively; E_c and I_c – the elastic modulus and second moment of area of concrete, respectively; λ – the column slenderness; N_{pl} – the section

plastic strength; N_u – the cross-sectional maximum strength; and L_e – the effective length of column.

3. Description of experimental database

The experimental data used in this study consists of 504 axially loaded CCFST columns were collected from various studies and compiled in (Luat *et al.* 2020). The configuration of the CCFST axial compression test is depicted in Fig. 1.

Some selection criteria needed to ensure the consistency and reliability of datasets, such as: only collecting circular specimens under monotonic uniaxial compression, omitting specimens with steel reinforcement inside, and considering five input variables (D , t , L , f'_c , f_y) and one output N_u . Table 2 summarizes the statistics of the compiled input and output variables in terms of the training set, testing set, and whole dataset.

4. Methodology and model development

4.1 Multivariate adaptive regression splines (MARS)

Multivariate adaptive regression splines was first introduced by Friedman (1991), as a procedure for adaptive nonlinear and nonparametric regression that makes no assumption about the underlying functional relationship between the predictors and the target outputs. The general expression of nonparametric regression can be represented as

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}) = f(X) + \varepsilon_i \quad (7)$$

in which $X = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij})$ is an $i \times j$ matrix of j input features and i samples and ε_i is the error distribution of the i th sample, also called noise. The main goal of this regression is to estimate the general function of high

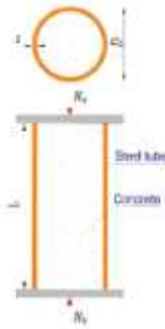


Fig. 1 The axial compression test configuration for CCFST columns.

Table 2 Statistical of input and output variables

Variable	Mean	Std.	Min	Max	Range
Diameter of circular cross-section, D (mm)					
• Train	150.4	65.3	38.1	450.0	411.9
• Test	143.1	62.7	38.1	360.0	321.9
• All	149.0	64.8	38.1	450.0	411.9
Wall thickness of steel tube, t (mm)					
• Train	4.18	2.49	0.52	12.75	12.23
• Test	4.34	2.60	0.70	12.75	12.05
• All	4.21	2.51	0.52	12.75	12.23
Length of column, L (mm)					
• Train	1143.5	881.8	152.3	4158.0	4005.7
• Test	1082.3	881.0	152.3	4158.0	4005.7
• All	1131.5	881.1	152.3	4158.0	4005.7
Compressive strength of concrete, f'_c (MPa)					
• Train	43.5	24.6	9.2	121.6	112.4
• Test	44.4	25.0	11.9	121.6	109.7
• All	43.7	24.7	9.2	121.6	112.4
Yield strength of steel, f_y (MPa)					
• Train	346.4	89.9	185.7	681.9	496.2
• Test	352.4	89.1	185.7	605.1	419.4
• All	347.6	89.7	185.7	681.9	496.2
Ultimate axial capacity, N_u (kN)					
• Train	1733	1784	114	11665	11551
• Test	1699	1707	107	10401	10294
• All	1726	1768	107	11665	11558

dimensional arguments $f(x_1, x_2, \dots, x_j)$ directly, rather than to estimate parameters. For this purpose, it is assumed that $f(X)$ is a smooth, and continuous function.

A MARS model is established by applying basis functions (known as terms) to approximate the function $f(X)$. Basis functions are splines (also called smooth polynomials), which have pieces, including piece-wise linear and piece-wise cubic functions that connect smoothly together. However, only the piece-wise linear function is expressed for simplicity. The interface points between the linear piece-wises are called knots illustrated as solid markers in Fig. 2 and denoted t . The knot location separates the spline basis function into two-sided truncated functions, is expressed formally as:

$$b_q^-(x-t) = \begin{cases} -(x-t)^q & \text{if } x < t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$b_q^+(x-t) = \begin{cases} +(x-t)^q & \text{if } x > t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

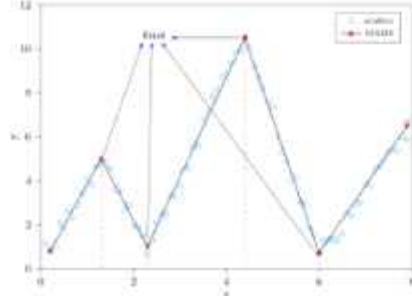


Fig. 2 A simple example of linear splines and knots

where t is the knot location, $b_q^-(x-t)$ and $b_q^+(x-t)$ are the spline functions, the $[\cdot]^q$ ensures these values are positive, and the power q equals to 1 for simplicity as mentioned above.

The general form of the MARS model for predicting output can be expressed as

$$\hat{y} = f(X) = c_0 + \sum_{m=1}^M c_m B_m(x) \quad (10)$$

where x is the input variable, c_0 is a constant, $B_m(x)$ is the m^{th} basis function, and c_m is the coefficient of $B_m(x)$.

In general, MARS contains the following three steps: (i) the constructive phase: a forward stepwise algorithm to select certain spline basis functions, (ii) the pruning phase: a backward stepwise algorithm to delete unnecessary basis functions until the “best” set is found, and (iii) optimum model selection. The constructive phase first starts on the training data with only the intercept, c_0 , and then several knots are created automatically. These knots are points at random locations within the range of each input variables to define a pair of basis functions. At each step, the model adopts the knot and its corresponding pair of basis function that produces the most significant decrease in the residual sum of squares error. Considering a current model with several basis functions (M), the next pairs are added to the model in the form

$$c_{m+1} B_m(X) [+(x_j - t)]_+^q + c_{m+2} B_m(X) [-(x_j - t)]_+^q \quad (11)$$

This process continues until the maximum number of terms M_{max} is reached. The value of M_{max} should be chosen larger than the optimal model size as referenced Friedman (1991). Typically, the basis functions addition leads to a very complicated and overfit model. In the second phase, a backward deletion is employed to overcome this problem. The aim of this phase is to find an optimal model by removing redundant basis functions and irrelevant variables as well. Friedman (1991) also recommended the generalized cross-validation (GCV) originally proposed by Craven and Wahba (1978) as a deletion criterion. The value of GCV is defined as follows

$$GCV(M) = \frac{1}{n} \times \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(1 - C(M)/n)^2} \quad (12)$$

where n is the number of data sets, y_i is the response value of the i^{th} data, $\hat{y}_i$ is the predicted values obtained from the MARS model of the i^{th} data, and $C(M)$ is a penalty factor that increases with the number of terms that can be determined as

$$C(M) = M + dM \quad (13)$$

where d is a cost penalty factor for each basis function optimization and is a smoothing parameter. Friedman (1991) provided more details about the selection of d . At each backward step, a basis function is removed to minimize Eq. (7), until an adequately fitting model is found. Finally, in the third phase, the best MARS model is selected. The flowchart of the MARS model is shown in Fig. 3.

An analysis of variance (ANOVA) decomposition of the MARS model can be used to assess the contributions from the input variables and the basis functions. This procedure groups together all the basis functions that involve one variable and another grouping of terms that involve pairwise interactions. ANOVA function for MARS model is given by the following expression:

$$f(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p f_i x_i + \sum_{i,j=2}^p f_{ij} x_{ij} + \sum_{i,j,k=3}^p f_{ijk} x_{ijk} + \dots \quad (14)$$

where $\sum_{i=1}^p f_i x_i$ is the total basis functions that involve only a single variable, $\sum_{i,j=2}^p f_{ij} x_{ij}$ is total basis functions that involve exactly two variables and $\sum_{i,j,k=3}^p f_{ijk} x_{ijk}$ represents the contributions from three variables interactions (if present).

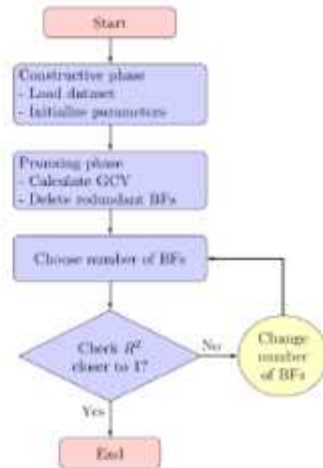


Fig. 3 The flowchart of the MARS model

4.2 Artificial neural networks (ANN)

For the sake of benchmarking the predictive performance of the proposed hybrid G-MARS model, the ANN model, a regularly used machine learning model, was fixed with the genetic algorithm to build up a hybrid GA-ANN model. Generally, ANN is used as a mapping engine resulting in a neural network structure between the combination of the predictors (input variables) and the target (output variable). The ANN structure includes three main parts: one input layer, one or more hidden layers, and an output layer. For engineering applications, an ANN with one hidden layer can deal with most problems, as demonstrated in (Luat *et al.* 2020, Nguyen *et al.* 2020).

To build an ANN model, it needs to be trained, and there are several learning algorithms currently available for this aim. In the classical feed-forward ANN model, backpropagation is one of the prevalent algorithms in many researches, recognized over several decades. The principal feature that evaluates the learning process is the cost function in terms of the root mean square error (RMSE).

The main impediment of this cost function is that the model is at risk of being stuck in the local minimum problem. This highlights the importance of employing evolutionary GA to optimize the learning process (Zheng *et al.* 2018, Gomes *et al.* 2019). Accordingly, the benchmark ANN model in this study was integrated with the GA to update the weights and biases of the internal connection between the input and output variables. Three hyperparameters of the ANN model were considered for the optimization process; they were the number of neurons in the hidden layer, learning rate (α), and momentum (μ). The advantages that make this algorithm stand out are its simplicity, flexibility, robustness, and superior convergence features (Yaseen *et al.* 2018). The activation function of the hidden layer is configured as a sigmoid function (logistic), while the output layer activation function is the rectified linear unit function (relu).

4.3 Genetic algorithm

Genetic algorithms (GA), inspired by the process of natural selection, were first popularized by Holland (1975) and further developed by Goldberg (1989). A GA is a metaheuristic that belongs to the larger class of evolution algorithms (EA). This algorithm mirrors the process of natural selection, where the fittest individuals are selected for reproduction to produce offspring of the next generation. One of the main advantages of GA is its ability to search global optimal values in a complex search space (multi-modal, multi-objective, non-linear, discontinuous, and highly constrained space). Because of this capability, GA has gained popularity in several optimized applications (Hayaloglu and Degertekin 2004, Nobahari *et al.* 2017, Chen *et al.* 2019, Gomes *et al.* 2019).

In general, an individual is characterized by a set of parameters (variables), as called genes. Genes are joined into a string to form a chromosome. In GA, a chromosome has a fixed length that encodes genes to binary values (a string of 0s and 1s). The implementation of GA may be

specified in the following steps: (i) population initialization; (ii) evaluate fitness function; (iii) selection; (iv) crossover and mutation; (v) termination.

Commonly, the GA starts with a set of individuals is randomly generated, called initial population. Then, the adaptation of each individual is estimated by the fitness function, e.g., root mean square error (RMSE), which determines the ability of an individual to contend with the others. Each individual is given a fitness score as a basis of the selection for reproduction. The GA then selects two pairs of individuals (parents) according to their fitness score (the higher fitness score is, the more chance they are to be selected). Crossover is the most significant phase in GA, where the parents pass their genes to the next generation. A crossover point is randomly chosen to determine the range of genetic exchange between two parents. When the genetic exchange of parents among themselves reaches the crossover point, a new individual, as called child, is created and added to the population. The child returned can be expressed as

$$C = P2 + R_{cr} \times (P1 - P2) \quad (15)$$

where R_{cr} is the ratio indicating how far the child (C) is from the better parent (P1, P2), and $P1 -$ denotes the parent having better fitness value. In addition, the fraction of individuals in the next generation is represented by a parameter F_{cr} , which has a significant effect on GA performance.

In some newly formed individuals, some of their genes may be mutated with low random probability, P_{mut} . Mutation adds to the diversity of a population and thereby increases the likelihood that GA generates better individuals. It occurs to maintain variety within the population and prevent premature convergence. Finally, the GA terminates if the stopping condition is satisfied, and the best solution is found in the current population. This condition can be based on the chromosome structure or the special meaning of the chromosome. The former governs the number of genes that are converging, whereas the latter examines the algorithm evolution after each generation. The GA finishes if the number of genes is equal or higher than an identical value, or its change is less than a constant. When the stopping conditions are not met, this process is repeated with the new population until creating the best generation. The executable GA is graphically illustrated in Fig. 4.

4.4 Hybrid model implementation (G-MARS)

According to available studies on the implementation of MARS models, the primary drawback is identifying the optimal values of the internal hyperparameters. In the present research, the MARS model was conducted by Python, an interpreted high-level programming language, with its package "py-earth". As mention above, one may construct a MARS model with a variety of hyperparameter options, including a maximum basis function (max terms) M_{max} , maximum interaction (also called as product degree) L_{max} , and penalty parameter d . However, while setting the optimal parameters simultaneously is difficult using MARS,

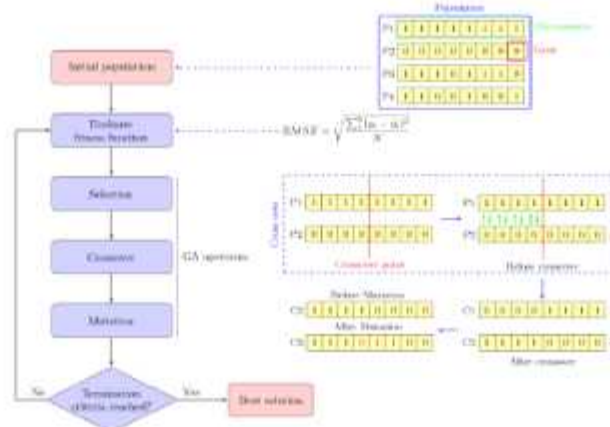


Fig. 4 The GA flowchart

such optimization significantly improves the prediction accuracy of MARS. A hybrid model G-MARS was developed thus utilized to overcome this problem, illustrated in Fig. 5. The step involved are summarized below:

i) Initializing and encoding

Three MARS hyperparameters to be optimized were encoded in binary format to produce the chromosomes. Elements of the chromosome P defined by $P(p_1, p_2, p_3)$ represented (M_{max}, I_{max}, d) where, p_1 and p_2 were integer values, and p_3 was a continuous value. The k -fold cross-validation method was used in this research to reduce the over-fitting problem in the selected model. With 504 experimental data, the 10-fold was chosen for developing the hybrid model. Firstly, the whole data was divided into two partitions, namely training set with 405 cases (80%) and testing set with 99 cases (20%). To implement the cross-validated procedure, the training data were randomly selected and split into 10 distinct folds, which mean each fold contains approximately 40–41 cases (10% of 405). For each iteration, MARS model was performed on a training subset (nine of ten folds) using a specific combination of (M_{max}, I_{max}, d) , while the remaining one dataset was used to validate model performance by calculating the fitness value from fitness function. The 10-fold cross-validation technique strategy is presented in Fig. 6. This procedure is repeated for each fold in the training set so that all folds were used once as the validation fold. In this case, the fitness function was the root mean square error (RMSE).

ii) GA operators

The previous population was replaced by the offspring after completing the GA operators, i.e., selection, crossover, and mutation. The ratio R_c , the crossover probability F_c , and mutation probability P_m , were chosen 1.2, 70%, and 10%, respectively (Ren and Bai 2010, Koopalipoor *et al.*

2019), and defined at the first step. In this stage, GA searches the best combination of hyperparameters (M_{max}, I_{max}, d) in each generation.

iii) Terminating criteria

The optimization process is stopped once the termination criterion is satisfied. Before reaching this point, the G-MARS model proceeds to the next generation. Because GA was used as an evolutionary search engine, the stop criterion is often the maximum number of generations (G_{max}).

iv) Estimating model and decoding parameters

The best MARS model with optimal parameter settings was obtained when the termination criterion was fulfilled. It means that G-MARS has completed the training process and is active in predicting new input data (testing set). However, all the encoded parameters need to be decoded following:

$$X_{dec} = p \sum_{i=1}^{L_c} bit \times 2^i + b_{lower} \quad (16)$$

where, X_{dec} – decoding value; p – precision is calculated as: $p = \frac{b_{upper} - b_{lower}}{2^{L_c} - 1}$, in which b_{upper} and b_{lower} are upper bound and lower bound of parameter X , respectively; L_c is the chromosome length; bit is a binary value (0 or 1).

For the sake of design a G-MARS model, a parametric study was employed to determine the maximum number of generations (G_{max}) and the population size (P_n), which are the most influential parameters in GA. To determine the optimal value of G_{max} , eight models were built using various values of P_n , i.e., 10, 20, 50, 100, 150, 200, 250, and 300 with the k -fold cross-validation method. In these models, a value of 500 generations was chosen as the stopping criteria considering RMSE. All parameters for the proposed G-MARS model are briefly listed in Table 3.

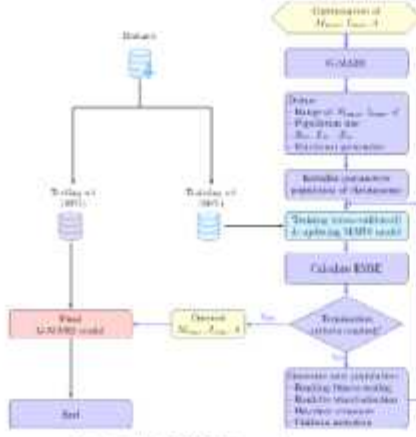


Fig. 5 The G-MARS procedure

Fig. 6 k -fold (10-fold) cross-validation scheme

4.5 Evaluation criteria

The performances of the proposed model (G-MARS) and the benchmark model (G-ANN) were evaluated using several well-known statistical indicators, such as coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), and Legates and McCabe index (LM). The mathematical expressions are given as follows:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_u^a - N_u^p)^2}{\sum_{i=1}^n (N_u^a - \bar{N}_u)^2} \quad (17)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_u^a - N_u^p)^2}{n}} \quad (18)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |N_u^a - N_u^p|}{n} \quad (19)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{N_u^a - N_u^p}{N_u^a} \right| \quad (20)$$

$$LM = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n |N_u^a - N_u^p|}{\sum_{i=1}^n (N_u^a - \bar{N}_u)} \right] \quad (21)$$

Table 3 The hybrid G-MARS model parameters

Component	Program parameter	Setting
MARS model		
Estimator type	estimator	earth()
Evaluation	scoring	r2
Maximum number of basis function (M_{max})	max_term	(1; 50)
Maximum interaction of terms (I_{max})	max_degree	(1; 9)
Smoothing parameter (d)	penalty	(2; 4)
Number of extreme data values of each feature not eligible as knot locations	end_span	
Parameter controlling end_span	endspan_alpha	(0; 1)
Parameter controlling endspan_alpha	minspan_alpha	(0; 1)
Kind of feature importance	feature_importance_type	GCV
Cross-validation method	K-fold	-
Number of folds	n_uplim	10
Training partition		80%
Testing partition		20%
Genetic algorithm		
Maximum generation	G_{max}	500*
Population size	P_s	300*
Combinatorial variables		
$-M_{max}$	P1	integer
$-I_{max}$	P2	integer
$-d$	P3	float
Differential ratio	R_{cr}	1.2
Crossover ratio	F_{cr}	0.7
Mutation ratio	P_{mut}	0.1
Fitness function	RMSE	-

*maximum value

where N_u^a and N_u^p are, respectively, the actual and predicted ultimate capacity of CCFST columns, $\bar{N}_u$ is the mean of actual N_u , and n is the sample size. The most ideal model with the values for R^2 , RMSE, MAE, MAPE, and LM are 1, 0, 0, 0%, and 1, respectively.

5. Proposed hybrid models

5.1 Simulation results

5.1.1 G-MARS performance

As noted before, to design a G-MARS model, a parametric study was employed, to determine the maximum number of generations (G_{max}) and the population size (P_s), which are the most influential parameters in GA. To determine the optimal value of G_{max} , eight models were built using various values of P_s , i.e., 10, 20, 50, 100, 150, 200, 250, and 300 with the k -fold cross-validation method.

Table 4 Performance of various population sizes for predicting the ultimate capacity of CCFST columns

	P_s	10	20	50	100	150	200	250	300
Statistic index	$RMSE$ (kN)	681.85	615.12	381.52	245.47	425.51	323.55	314.96	372.10
	R^2	0.8423	0.8819	0.9538	0.9739	0.9397	0.9640	0.9662	0.9572
	$M4E$ (kN)	447.98	430.62	266.68	171.11	300.78	218.60	208.37	246.21
Ranking	$RMSE$ (kN)	1	2	4	8	3	6	7	5
	R^2	1	2	4	8	3	6	7	5
	$M4E$ (kN)	1	2	4	8	3	6	7	5
	$Total$	3	6	12	24	9	18	21	15
	M_{max}	11	12	24	18	23	17	19	25
Parameter	I_{max}	2	2	3	2	3	2	2	3
	d	1.29	3.81	2.04	3.03	1.65	3.73	2.72	2.34
	M_p	5	6	10	20	8	15	18	11

*Bold values are the best performance

In these models, a value of 500 generation was chosen as the stopping criteria considering $RMSE$.

As displayed in Fig. 7, the $RMSE$ values were stable after the 200th generation. In the final step, the eight-developed models were evaluated based on their statistical performance. Table 4 presents the results for $RMSE$, R^2 , and $M4E$ obtained from these models perform on the validating subset. A ranking method was used to choose the best hybrid models in this case. The model which had the lowest $RMSE$, $M4E$ is ranked the highest score and vice versa. Conversely, the model with the highest value of R^2 received the maximum ranking score and the reverse. For example, the obtained coefficients of determination were 0.8423, 0.8819, 0.9538, 0.9739, 0.9397, 0.9640, 0.9662, 0.9572, respectively. The assigned rankings for these values were 1, 2, 4, 8, 3, 6, 7, 5, respectively. Similarly, this work was repeated for $RMSE$ and $M4E$.

The best model was selected based on total ranking by summing up the three statistical indices. It was illustrated that the model built by 100 generations ($P_s = 100$), with total rank of 24, was the best G-MARS model. The optimal combination of MARS' parameters is also shown in Table 4. The values of M_{max} , I_{max} , and d were 18, 2, and 3.03, respectively. Remarkably, the values of maximum basis function M_{max} which varied in the range from 11 to 25, affect the accuracy of prediction significantly. Also, the number of interactions among input variables I_{max} alternated between 1 and 3. It was found that no fold had a default value of penalty parameter d inside the referred range (Friedman 1991). Therefore, it can be concluded that simultaneously choosing suitable parameter values is a challenge for users, and the instance of these parameter values depends on user experience that may be outside the suggested range. This statement is in good agreement with our previous investigation (Luat *et al.* 2020). It is noteworthy that the value of M_p (16) indicates the number

of terms in the pruned model. That means two redundant basis functions were deleted after the pruning phase. Finally, a new explicit formulation was derived from the proposed MARS model for predicting the ultimate axial capacity of CCFST columns as follows:

$$N_u^p = 2304.4 + 0.14 \times B_1(x) - 0.27 \times B_2(x) - 19.26 \times B_3(x) + 32.57 \times B_4(x) - 140.23 \times B_5(x) + 229.92 \times B_6(x) - 22.63 \times B_7(x) + 0.002 \times B_8(x) - 5.30 \times B_9(x) + 2.08 \times B_{10}(x) - 0.07 \times B_{11}(x) + 1.38 \times B_{12}(x) - 0.41 \times B_{13}(x) - 0.71 \times B_{14}(x) + 0.14 \times B_{15}(x) \quad (22)$$

where, $\sum_{m=0}^{15} B_m(x)$ are basis functions of the MARS model $\sum_{m=0}^{15} B_m(x)$, and given in Table 5 with their corresponding coefficients (c_m).

Table 6 shows the prediction performance of the best G-MARS model on the training dataset with 10 cross-validation folds. As shown in this table, the MARS model achieved outstanding R^2 values (close to 1) of 0.9801 and 0.9739 for both training and validating subsets, respectively, illustrating that the model accurately and stably predicted the ultimate axial capacity of CCFST columns. It is observed that the highest R^2 and LM values, and the lowest $RMSE$, $M4E$, $M4PE$ values for training subset were obtained from fold 3, while these values for validating subset were obtained from fold 10.

The average of $M4PE$ for training and validating predictions were 14.38% and 13.1%, respectively, with both values below 15% error, indicating the robustness of the MARS model. The small value of standard deviation, which indicates the proposed MARS model also provides stable prediction, was only 0.42% and 1.54%, respectively. Moreover, the difference in $M4PE$ between training and validating subset was a minor value of 1.1%, demonstrating the MARS model provided a less-overfitting prediction.

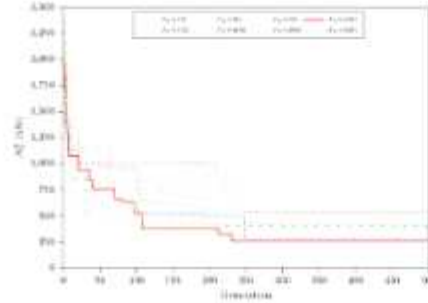


Fig. 7 The RMSE curves of G-MARS model accordance with various population sizes

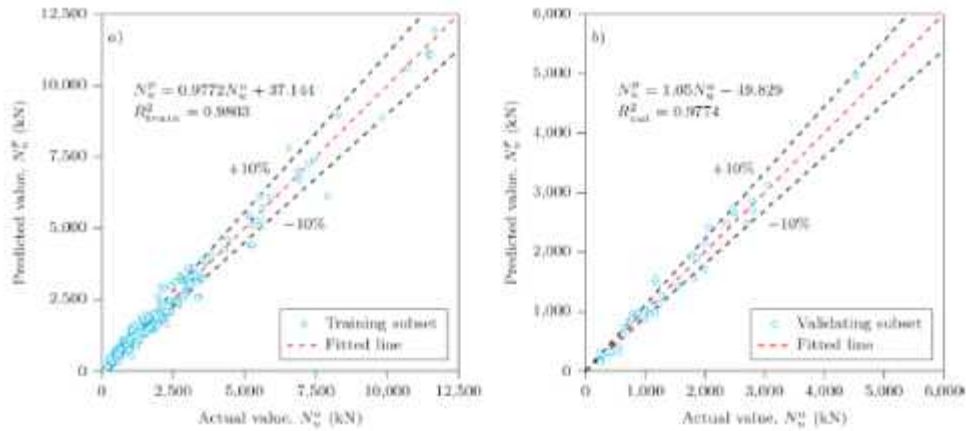


Fig. 8 The correlation between predicted and actual output performing on fold 6 (a) training subset and (b) validating subset

Fold 7 was selected to graphically show the correlation between the predicted value and measured value since its results were similar to the average values, as seen in Fig. 8. It is clear that most data points in the training and validating subsets fall within the $\pm 10\%$ line, demonstrating model prediction ability with reasonable errors.

5.1.2 G-ANN performance

As mentioned earlier, to benchmark the proposed G-MARS model, a hybrid G-ANN model was built based on the ANN model fused with GA optimization. In this study, GA was used to optimize three parameters of the ANN model, the number of neurons in hidden layers, learning rate, and momentum. Similar to the G-MARS model, the parameters of GA operators, including ratio R_{sel} , the crossover probability F_{cr} , and mutation probability P_{mut} , were chosen to be 1.2, 70%, and 10%, respectively. A parametric study needs to be employed in order to determine the G_{max} value, which affects network

performance. Eight models with various population sizes (10, 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300) were built, and their RMSE values were extracted over 500 generations. Consequently, as with the previous hybrid model, the RMSE values were found to be unchanged after the 100th generation.

The determination of the optimal tuning values of the ANN model was implemented in the same manner as the proposed MARS model. With the best population size of 100, the values of the number of neurons, learning rate (α), and momentum (μ) were 9, 0.0172, and 0.4989, respectively. Therefore, the ANN structure was found to be 5-9-1, as illustrated in Fig. 9. The activation function of the hidden layer and output layer were *logistic* and *relu* function, respectively. The connection weights and biases of the optimal ANN model were given in Table 7.

Table 8 presents the estimated G-ANN model results applying 10 fold cross-validation with various criteria indices. In general, the G-ANN model provided a relatively

Table 5 Basis function of the MARS model with their corresponding equation and coefficients

$B_m(x)$	Equation	(c_m)
$B_0(x)$	1	2304.39
$B_1(x)$	$\max(0, 1580 - L)$	0.14
$B_2(x)$	$\max(0, L - 1580)$	-0.27
$B_3(x)$	$\max(0, 168.7 - D)$	-19.26
$B_4(x)$	$\max(0, D - 168.7)$	32.57
$B_5(x)$	$\max(0, 2.96 - t)$	-140.23
$B_6(x)$	$\max(0, t - 2.96)$	229.92
$B_7(x)$	$\max(0, 108 - f'_c)$	-22.63
$B_8(x)$	$\max(0, 1580 - L) \times \max(0, f_y - 326.5)$	0.002
$B_9(x)$	$\max(0, 127.3 - D) \times \max(0, t - 2.96)$	-5.30
$B_{10}(x)$	$\max(0, D - 127.3) \times \max(0, t - 2.96)$	2.08
$B_{11}(x)$	$\max(0, D - 168.7) \times \max(0, 355.1 - f_y)$	-0.07
$B_{12}(x)$	$\max(0, D - 168.7) \times \max(0, f'_c - 55.9)$	1.38
$B_{13}(x)$	$\max(0, D - 168.7) \times \max(0, 55.9 - f'_c)$	-0.41
$B_{14}(x)$	$\max(0, D - 168.7) \times \max(0, f'_c - 41)$	-0.71
$B_{15}(x)$	$\max(0, 219.3 - D) \times \max(0, 108 - f'_c)$	0.14

Table 6 The statistical performance metrics of the optimal G-MARS model performing on training data (training and validating subsets)

Fold	Training					Validating				
	RMSE (kN)	MAE (kN)	R^2	MAPE (%)	LM	RMSE (kN)	MAE (kN)	R^2	MAPE (%)	LM
1	258.09	175.49	0.9795	14.36	0.846	206.01	156.89	0.9882	13.24	0.878
2	248.11	168.13	0.9805	14.57	0.851	273.50	198.80	0.9779	13.11	0.833
3	238.21	166.44	0.9824	13.17	0.863	342.35	181.77	0.9578	11.41	0.838
4	245.47	169.97	0.9816	14.11	0.850	293.33	213.11	0.9623	15.50	0.811
5	247.96	171.64	0.9817	14.34	0.853	274.66	166.80	0.9463	13.40	0.804
6	257.56	174.15	0.9803	14.38	0.850	176.58	143.89	0.9774	13.10	0.840
7	251.22	171.51	0.9801	14.51	0.850	246.23	167.97	0.9814	11.91	0.843
8	253.26	171.58	0.9773	14.29	0.843	227.05	167.48	0.9917	13.94	0.889
9	251.59	169.98	0.9811	14.14	0.853	242.92	181.62	0.9622	15.24	0.802
10	255.15	172.73	0.9765	14.64	0.841	172.09	132.75	0.9937	10.69	0.902
Avg.	250.66	171.16	0.9801	14.25	0.849	245.47	171.11	0.9739	13.15	0.844
Std.	6.02	2.69	0.0019	0.42	0.004	53.07	24.06	0.0160	1.54	0.035

*Bold values are the best performance

accurate predictive model with high values of R^2 (0.95747 for the training subset, and 0.94764 for the validating subset). In terms of RMSE, the values for the training subset (401.19 kN) and validating subset (476.63 kN) were 76.6% and 72.3, respectively, lower than the mean actual value of the training set (1719.15 kN). Meanwhile, the MAE rates of 87% were the same for both training and validating subsets. Fold 10 exhibited the best performance with superior metrics, and their predicted values are displayed in Fig. 10 together with actual values.

5.2 Comparison and discussion

5.2.1 Results compared to the benchmark model

Observing qualitatively Figs. 8 and 10, it is evident that most data points obtained from both the G-MARS and G-ANN models are very close to the fitted line and within the $\pm 10\%$ margins. To compare the predictability of two models, their performance on the testing sets are shown in Fig. 11. It can be seen that the G-MARS model performed better efficiency than the benchmark G-ANN model with

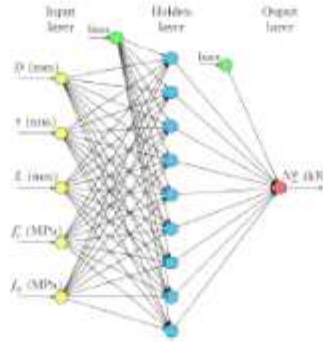


Fig. 9 The optimum ANN structure (5-9-1)

Table 7 Model parameters of the optimal ANN model

Neuron	Weights						Bias	
	Input					Output	Hidden layer	
	L	D	r	f_c	f_t			Output layer
1	0.527	-0.851	-0.954	-0.336	0.241	-4.774	1.116	-0.997
2	-0.435	0.624	1.376	0.157	0.244	2.311	-1.045	
3	-0.284	0.948	1.094	0.507	0.100	-4.115	-1.045	
4	0.624	-1.139	0.160	-0.264	0.599	0.186	-0.004	
5	-0.676	0.751	1.340	0.500	-0.534	-3.523	-2.166	
6	-1.426	-0.147	-0.535	-1.129	-0.459	0.376	-4.664	
7	-0.296	0.327	-0.294	-0.594	-0.334	3.503	1.193	
8	-1.191	0.734	1.589	-0.381	-0.227	-0.725	-0.833	
9	0.332	0.190	0.222	0.716	0.344	3.754	-1.170	

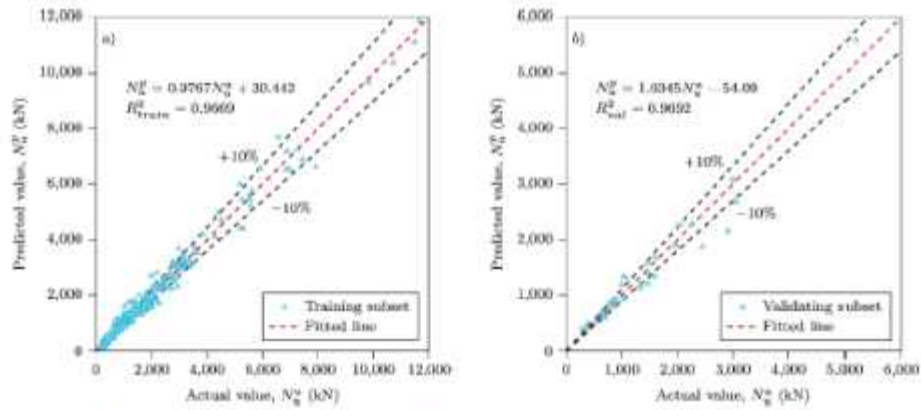


Fig. 10 The predictive performance of G-ANN model performing on (a) training subset, and (b) validating subset

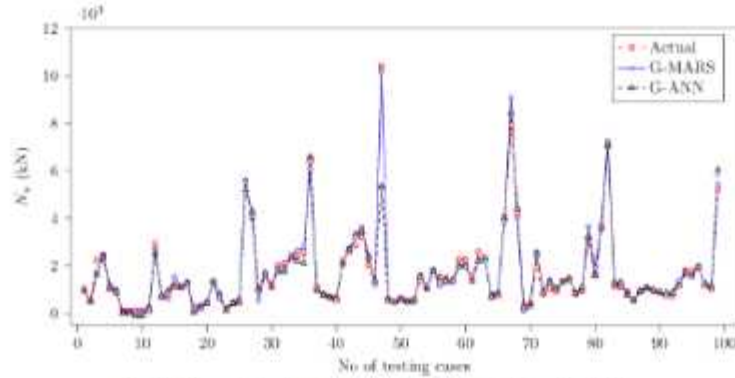


Fig. 11 The actual and predicted values by G-MARS and G-ANN

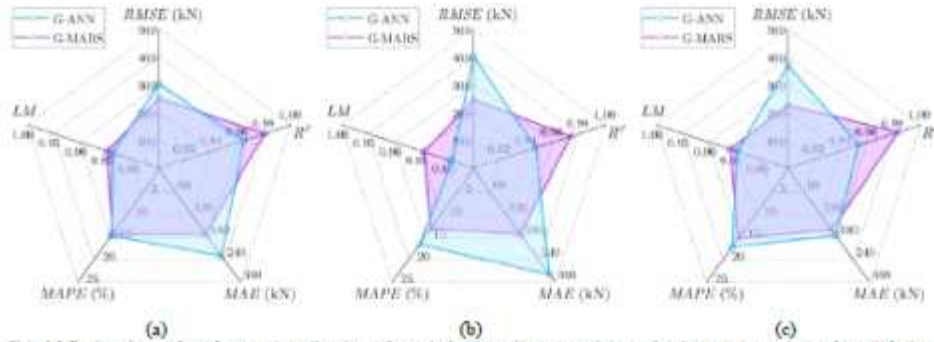


Fig. 12 Radar chart of performance evaluation of two hybrid predictive models in the (a) training subset, (b) validating subset and (c) testing set

the predicted values of almost cases are consistent with the actual values.

The five statistical indices that appear in Tables 6 and 8 were quantitatively analyzed to evaluate the performance of both hybrid models on the testing set. The values of ($RMSE$, R^2 , MAE , $MAPE$, LM) attained from the G-MARS and G-ANN models were (225.96kN, 0.9838, 159.57, 15.22%, 0.8599) and (369.66kN, 0.9537, 174.79kN, 17.14%, 0.8465), respectively. These values for training and validating subsets are extracted from Tables 6 and 8. They are depicted together with the obtained values from the testing set (Fig. 12). It can be clearly observed from this radar chart that the regions enclosed by the five indices corresponding to the G-MARS model are mostly covered by those belonging to the G-ANN model, except for the R^2 and LM apexes. This combined interpretation illustrates that the absolute errors for $RMSE$, MAE , and $MAPE$ in the G-ANN model performance are larger than those from the

proposed G-MARS model. The values of R^2 and LM , on the other hand, have the opposite trends. It can be therefore be concluded from Fig. 12 that the G-MARS model has considerably superior predictability compared to the G-ANN model.

5.2.2 Comparison with available methods

Fig. 13 presents the predicted value N_u^p obtained from the proposed hybrid G-MARS model, the G-ANN model and five other existing methods, including ACI318-14, AISC360-10, EC4, Gekoumalis and Lam (2004), and Wang *et al.* (2017), compared with the results from the 504 experimental datasets used. It can be observed that the ultimate capacity values predicted by the G-MARS model lie close to the 45° fitted line, which illustrates neither overestimation nor underestimation. Meanwhile, the values obtained from ACI318-14 and Wang *et al.* (2017) tend to be underestimated with a large number of cases below the fitted line.

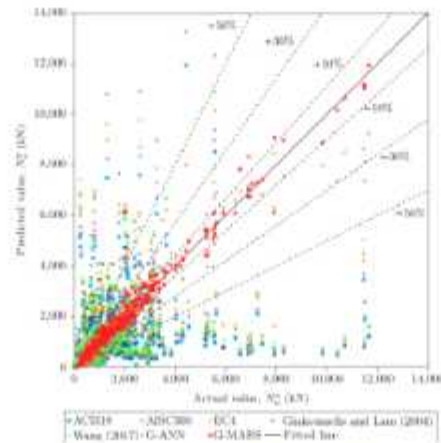


Fig. 13 Comparison of the performance of the G-MARS model with other available methods on the entire dataset

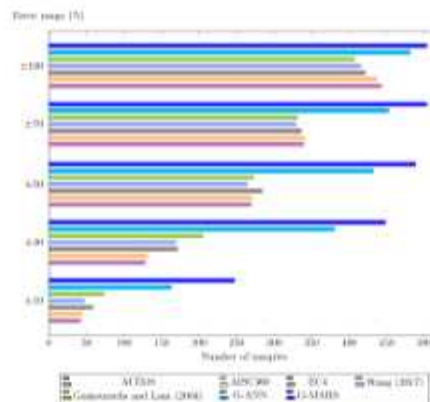


Fig. 14 Sample distribution of various methods in $\pm 100\%$ error range

Furthermore, the error distribution of all methods was obtained, is tabulated in Table 9, and graphically shown in Fig. 14. In the majority of cases (89.1%), the G-MARS model exhibited significant accuracy with an error in the range of $[0 - \pm 30\%]$ and reached all samples in the error range of $[0 - \pm 80\%]$. In contrast, the ACI318-14 generally gave the worst performance with a minority of samples (25.6%) yielded in the $[0 - \pm 30\%]$ error range. For the other methods, these percentages were 26.2%, 34.1%, 33.7%, 40.9%, and 75.6% for the AISC, EC4, Giakoumelis and Lam's (2004), Wang's (2017), and G-ANN model, respectively. Moreover, none of these models approached

entire data in the error range of $[0 - \pm 100\%]$, including the G-ANN model (94.7%) even though performed a good prediction.

Table 10 quantitatively shows the statistical indicators of all seven methods performing on all samples. From a general point of view, G-MARS and G-ANN models have compressive strength of concrete (f'_c). The least important the most accuracy in terms of the highest R^2 (0.9803 and 9608, respectively) and lowest absolute errors (i.e., $RMSE$, MAE , $MAPE$ and SI). Conversely, ACI318 and AISC360 were the least accurate equations with an average error of over 30% even though they had higher values of R^2 than

Table 8 The statistical performance metrics of the optimal G-ANN model performing on training data (training and validating subsets)

Fold	Training					Validating				
	<i>RMSE</i> (kN)	<i>MAE</i> (kN)	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i> (%)	<i>LM</i>	<i>RMSE</i> (kN)	<i>MAE</i> (kN)	<i>R</i> ²	<i>MAPE</i> (%)	<i>LM</i>
1	301.59	232.99	0.9649	15.77	0.8356	363.05	275.11	0.9505	18.38	0.7906
2	307.63	221.88	0.9635	14.75	0.8441	326.56	251.26	0.9623	16.23	0.8264
3	305.10	225.47	0.9618	15.33	0.8417	573.76	331.61	0.8957	17.26	0.7462
4	295.42	224.60	0.9658	14.69	0.8424	387.22	296.43	0.9475	17.91	0.7783
5	289.84	229.97	0.9669	13.94	0.8469	382.97	271.92	0.9466	17.69	0.7445
6	315.91	242.15	0.9635	15.66	0.8303	438.70	246.10	0.9500	14.85	0.8026
7	307.80	235.35	0.9637	15.98	0.8338	335.44	259.79	0.9616	16.95	0.8018
8	310.51	232.21	0.9612	13.85	0.8306	584.87	335.67	0.9419	18.30	0.8007
9	310.77	229.40	0.9641	13.77	0.8409	307.42	295.28	0.9474	14.23	0.7886
10	285.73	223.27	0.9669	12.38	0.8320	303.87	230.51	0.9692	14.05	0.8353
Avg.	303.03	229.73	0.9642	14.61	0.8378	400.39	279.37	0.9473	16.58	0.7915
Std.	9.79	6.24	0.0019	1.66	0.0061	102.77	35.25	0.0201	1.66	0.0296

*Bold values are the best performance

Table 9 Error distribution of various methods in terms of quantity of data within error range and their proportion to the whole data

Range of error (%)		Method					
		ACI	AIJC	EC4	GL04	W17	GM
[0 – ±10]	No.	43	45	59	48	74	248
	%	8.5	8.9	11.7	9.5	14.7	49.2
[10 – ±20]	No.	75	86	113	98	141	391
	%	14.9	17.1	22.4	19.4	28.0	77.6
[20 – ±30]	No.	129	132	172	170	206	449
	%	25.6	26.2	34.1	33.7	40.9	89.1
[30 – ±40]	No.	193	202	230	228	239	473
	%	38.3	40.1	45.6	45.2	47.4	93.8
[40 – ±50]	No.	270	271	285	265	273	489
	%	53.6	53.8	56.5	52.6	54.2	97.0
[50 – ±60]	No.	306	304	304	293	296	496
	%	60.7	60.3	60.3	58.1	58.7	98.4
[60 – ±70]	No.	340	341	337	330	332	498
	%	67.5	67.7	66.9	65.5	65.9	98.8
[70 – ±80]	No.	386	381	379	368	365	504
	%	76.6	75.6	75.2	73.0	72.4	100
[80 – ±90]	No.	425	417	407	397	395	504
	%	84.3	82.7	80.8	78.8	78.4	100
[90 – ±100]	No.	444	437	422	416	408	504
	%	88.1	86.7	83.7	82.5	81.0	100

Note: GL04 – Gukounellis and Lam (2004), W17 – Wang (2017), GM – G-MARS model, GA – G-ANN model

Gukounellis and Lam's (2004). From the above discussion, it is obvious that the G-MARS model provided the best estimate of the ultimate capacity of CCFST columns.

5.3 Variables importance

One of the most valuable advantages of using MARS is

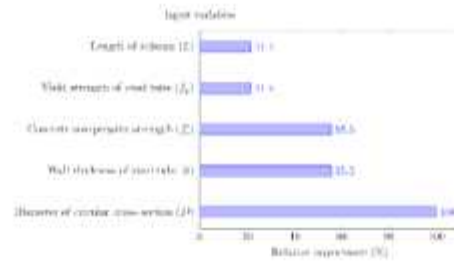
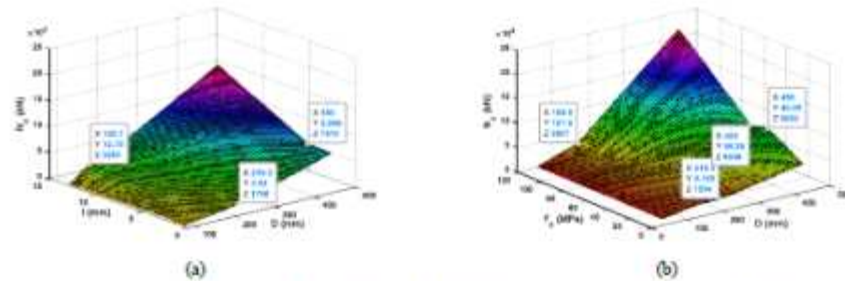


Fig. 15 The relative importance of predictors

Fig. 16 Interaction plot of the two most influential variables (a) D & t ($X = D$, $Y = t$, $Z = N_u$) and (b) D & f_c ($X = D$, $Y = f_c$, $Z = N_u$)

its capacity to interpret the importance of the input variables after the pruning process. If an input variable was never used in any of MARS basis functions in the final model, it has an importance value of 0. Fig. 15 shows the relative importance of the input variables, which is evaluated by the increase in the GCV by removing the considered variables from the developed MARS model. The most influential variable is the diameter of circular cross-section (D), following by wall thickness of steel tube (t) and the compressive strength of concrete (f_c). The least important variables influencing the prediction were the length of the column and the yield strength of steel tube with the same value of 21.4%. It is noteworthy that the variable importance only measures the impact of the prediction error as features are included, however, it does not measure the impact for particular basis functions created for a given feature. For instance, Fig. 15 implies that D , t , and f_c are the three most significant importance; however, the non-linear patterns for each feature can not be accessed.

For further evaluation, Fig. 16, graphically presents the interaction of two combined the most influential variables with the predicted values. This interaction plot indicates a strong effect of two-pairs combined features on the ultimate axial capacity of CCFST columns. As seen in Fig. 16(a), two knots were found for the diameter of circular cross-

Table 10 Results comparison with available methods

Method	Statistic performance				
	RMSE (kN)	MAE (kN)	R^2	MAPE (%)	LM
ACI318 (2014)	999.67	631.78	0.8632	35.74	0.4431
AISC360 (2010)	917.51	560.71	0.8505	32.25	0.5058
EC4 (2004)	656.44	384.31	0.9071	23.63	0.6613
Giskounelis and Lam (2004)	795.58	462.50	0.8158	27.26	0.5923
Wang (2017)	616.75	357.99	0.8943	23.13	0.6845
G-ANN	323.94	222.93	0.9608	15.27	0.8358
G-MARS (this study)	245.39	168.88	0.9803	14.35	0.8507

section (at 128.7 mm and 219.3 mm), while the wall thickness of steel tube recorded a knot of 2.966 mm. From each knot, the ultimate axial capacity increase with a higher margin than those less than knot values. Similarly in Fig. 16(b), there are two knots for both the diameter and the concrete compressive strength. For columns with more than 219.3 mm diameter, there is a greater marginal effect on the ultimate capacity of CCFST columns than those constructed with less than 219.3 mm. For columns built with maximum

values of diameter (450 mm), from the 40.64 MPa to 56.39 MPa of the concrete compressive strength, the N_u tends to decrease slightly. In converse, the N_u dramatically increase as f_c exceed 56.39 MPa. Likewise, for CCFST columns were produced with a maximum value of compressive strength (121.6 MPa), the N_u value has a drastically increase if the diameter of columns exceed a threshold of 129.9 mm.

6. Conclusions

This study intended to extend our previous investigation in CFST columns under eccentric loading (Luat *et al.* 2020). A new hybrid data-driven approach, G-MARS model was proposed to predict the ultimate capacity of axially loaded CCFST columns. The genetic algorithm (GA) was utilized to optimize three hyperparameters of the MARS model. This combined model also investigated the interaction between the geometrical and material properties of the CCFST column and its axial ultimate capacity. For this purpose, a database containing 504 compressive CCFST column tests were collected from various published researches. The proposed hybrid model was then validated using a benchmark hybrid model G-ANN.

Based on the discussion above and comparisons of the proposed model with available methods, some findings can be given, as follows:

1. In general, the proposed hybrid G-MARS model revealed superior predictive performance over the benchmark hybrid G-ANN model as well as existing methods. Moreover, the MARS model can be efficiently utilized to develop an empirical formulation for predicting the ultimate capacity of CCFST columns and employed as a handy prediction tool with satisfactory predictability.
2. The obtained results in terms of statistical indicators and error distribution indicate the hybrid G-MARS model is a robust and reliable model that can accurately estimate the ultimate capacity of CCFST columns for a wide range of variables. This range covers the geometrical properties of the diameter of the circular cross-section, the wall thickness of the steel tube, and the length of column, which were altered from 25.4 mm to 450 mm, 2.52 mm to 12.75 mm, and 152.35 mm to 4158 mm, respectively. In addition, the ranges of material properties in terms of concrete compressive strength and the yield stress of the steel tube were taken into account, within 9.17 MPa to 121.6 MPa, and 185.7 MPa to 681.89 MPa, respectively. For cases in which the input variable values are beyond these ranges, the proposed G-MARS model should be applied with caution.
3. Variable importance analyses were then conducted. The diameter of the circular cross-section was found to have the most influential in the predictive G-MARS model. In contrast, the length of the column and the yield stress of the steel tube showed the least effect on the proposed model.
4. Although G-MARS is a powerful model for

predicting the ultimate capacity of axially loaded CCFST columns, as demonstrated in this research, further studies are still needed to improve the accuracy level as well as computing cost. Some novel approaches can be applied, such as fitting an ensemble tree (gradient tree machine), bagged support vector machine, etc., with other nature-inspired algorithms such as the Simulated Annealing (SA) (Alavi *et al.* 2010), Artificial Bee Colony algorithm (ABC) (Cheng and Cao 2014), or Firefly algorithm (FA) (Bui *et al.* 2018).

Acknowledgments

This research was supported by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government (Grant 20CTAP-C15S044-02).

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declare no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

- ACI Committee 318. (2014), "Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-14)", Farmington Hills, MI, USA.
- Ahmadi, M., Naderpour, H. and Kheyroddin, A. (2017), "ANN Model for Predicting the Compressive Strength of Circular Steel-Confined Concrete", *Int. J. Civ. Eng.*, 15(2), 213-221. <https://doi.org/10.1007/s40999-016-0096-0>.
- Ahmadi, M., Naderpour, H. and Kheyroddin, A. (2014), "Utilization of artificial neural networks to prediction of the capacity of CCFT short columns subject to short term axial load", *Arch. Civ. Mech. Eng.*, 14(3), 510-517. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.01.006>.
- AISC Committee (2010), "Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-10)", Chicago-Illinois: American Institute of Steel Construction.
- Alavi, A.H., Gandomi, A.H., Mousavi, M. and Molilhasani, A. (2010), "High-precision modeling of uplift capacity of suction caissons using a hybrid computational method", *Geomech. Eng.*, 2(4), 253-280. <https://doi.org/10.12989/gae.2010.2.4.253>.
- Australian Standard (2004) Bridge design Part 6: Steel and composite construction, (2004).
- Avci-karatas, C. (2019), "Prediction of ultimate load capacity of concrete-filled steel tube columns using multivariate adaptive regression splines (MARS)", *Steel Compos. Struct.*, 33(4), 583-594. <https://doi.org/10.12989/scs.2019.33.4.583>.
- Beck, A.T., de Oliveira, W.L.A., De Nardin, S. and ElDebs, A.L. H.C. (2009), "Reliability-based evaluation of design code provisions for circular concrete-filled steel columns", *Eng. Struct.*, 31(10), 2299-2308. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.05.004>.
- Bui, D.K., Nguyen, T., Chou, J.S., Nguyen-Xuan, H. and Ngo, T. D. (2018), "A modified firefly algorithm-artificial neural network expert system for predicting compressive and tensile strength of high-performance concrete", *Constr. Build. Mater.*, 180, 320-333.

- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.201>.
- Chen, C., Younis, S.T., Najem, R.M., Abovian, A., Pham, B.T., Waki, K., Toumizem Mohamed, E. and Ehsani, M. (2019), "Optimum cost design of frames using genetic algorithms", *Steel Compos. Struct.*, **38**(3), 293-304. <https://doi.org/10.12989/scs.2019.38.3.293>.
- Chen, Y., Hou, C. and Peng, J. (2019), "Stability study on tension-connected SHS and CFST columns in modular construction", *Steel Compos. Struct.*, **38**(2), 185-199. <https://doi.org/10.12989/scs.2019.38.2.185>.
- Cheng, M.Y. and Cao, M.T. (2014), "Evolutionary multivariate adaptive regression splines for estimating shear strength in reinforced-concrete deep beam", *Eng. Appl. Artif. Intell.*, **28**, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2013.11.001>.
- Craven, P. and Wahba, G. (1978), "Smoothing noisy data with spline functions", *Numer. Math.*, **31**(4), 377-403. <https://doi.org/10.1007/BF01404567>.
- Dundar, M. (2012), "Compressive strength of circular concrete filled steel tube columns", *Thin-Wall Struct.*, **58**, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2012.03.008>.
- Elkamelkhar, T. and Al-Eliwi, B.J.M. (2016), "Experimental behaviour of circular concrete filled steel tube columns and design specifications", *Thin-Wall Struct.*, **105**, 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2016.04.004>.
- European Committee for Standardization (2004), "Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures-Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings", London, UK.
- Evrigen, B., Tuncan, A. and Taskin, K. (2014), "Structural behavior of concrete filled steel tubular sections (CFT/CFST) under axial compression", *Thin-Wall Struct.*, **80**, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2014.02.022>.
- Friedman, J.H. (1991), "Multivariate Adaptive Regression Splines", *Ann. Statist.*, **19**(1), 1-67. <https://www.jstor.org/stable/2241837>.
- Ghannam S., Jawad Y.A. and Humair, Y. (2004), "Failure of lightweight aggregate concrete-filled steel tubular columns", *Steel Compos. Struct.*, **4**(1), 1-8. <https://doi.org/10.12989/scs.2004.4.1.001>.
- Giakoumelis, G. and Lam, D. (2004), "Axial capacity of circular concrete-filled tube columns", *J. Constr. Steel Res.*, **60**(7), 1049-1068. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2003.10.001>.
- Goldberg, D.E. (1989), "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", 1st ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Gomes, G.F., de Almeida, F.A., Junqueira, D.M., da Cunha, S.S. and Anselotti, A.C. (2019), "Optimized damage identification in CFRP plates by reduced mode shapes and GA-ANN methods", *Eng. Struct.*, **181**(2019), 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.081>.
- Güneyisi, E.M., Gülsakin, A. and Mermerday, K. (2016), "Ultimate capacity prediction of axially loaded CFST short columns", *Int. J. Steel Struct.*, **16**(1), 99-114. <https://doi.org/10.1007/s13296-016-3009-9>.
- Han, L.H., Li, W. and Bjorhovde, R. (2014), "Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members", *J. Constr. Steel Res.*, **100**, 211-228. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.04.016>.
- Han, L.H. and An, Y.F. (2014), "Performance of concrete-encased CFST stub columns under axial compression", *J. Constr. Steel Res.*, **93**, 62-76. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.10.019>.
- Hayaloglu, M.S. and Degertekin, S.O. (2004), "Genetic algorithm based optimum design of non-linear steel frames with semi-rigid connections", *Steel Compos. Struct.*, **4**(6), 453-469. <https://doi.org/10.12989/scs.2004.4.6.453>.
- Holland, J.H. (1975), "Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence", Oxford, England: U Michigan Press.
- Koopalipoor, M., Fallah, A., Armaghani, D.J., Azizi, A. and Mohammad E.T. (2019), "Three hybrid intelligent models in estimating flyrock distance resulting from blasting", *Eng. Comput.*, **35**(1), 243-256. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0596-4>.
- Li, N., Lu, Y.Y., Li, S. and Liang, H.J. (2015), "Statistical-based evaluation of design codes for circular concrete-filled steel tube columns", *Steel Compos. Struct.*, **18**(2), 519-546. <https://doi.org/10.12989/scs.2015.18.2.519>.
- Luat, N.V., Lee, K. and Thai, D.K. (2020), "Application of artificial neural networks in settlement prediction of shallow foundations on sandy soils", **20**(5), 385-397. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.20.5.385>.
- Luat, N.V., Shin, J. and Lee, K. (2020), "Hybrid BART-based models optimized by nature-inspired metaheuristics to predict ultimate axial capacity of CCFST columns", *Eng. Comput.*, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01115-7>.
- Luat, N.V., Lee, J., Lee, D.H. and Lee, K. (2020), "GS - MARS method for predicting the ultimate load - carrying capacity of rectangular CFST columns under eccentric loading", *Comput. Concret.*, **25**(1), 1-4. <https://doi.org/10.12989/cac.2020.25.1.001>.
- Luat, N.V., Nguyen, V.Q., Lee, S., Woo, S. and Lee, K. (2020), "An evolutionary hybrid optimization of MARS model in predicting settlement of shallow foundations on sandy soils", *Geomech. Eng.*, **21**(6), 583-598. <https://doi.org/10.12989/gae.2020.21.6.583>.
- Moon, J., Kim, J.J., Lee, T.H. and Lee, H.E. (2014), "Prediction of axial load capacity of stub circular concrete-filled steel tube using fuzzy logic", *J. Constr. Steel Res.*, **101**, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.05.011>.
- Nguyen, M.S.T., Thai D.K. and Kim, S.E. (2020), "Predicting the axial compressive capacity of circular concrete filled steel tube columns using an artificial neural network", *Steel Compos. Struct.*, **35**(3), 415-437. <https://doi.org/10.12989/scs.2020.35.3.415>.
- Nikdel, P., Hosseini, M., Badamchizadeh, M.A. and Akbari, M. A. (2014), "Improved Takagi-Sugeno fuzzy model-based control of flexible joint robot via Hybrid-Taguchi genetic algorithm", *Eng. Appl. Artif. Intell.*, **33**, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.03.009>.
- Nobahari, M., Ghassemi, M.R. and Shabakhty, N. (2017), "Truss structure damage identification using residual force vector and genetic algorithm", *Steel Compos. Struct.*, **25**(4), 485-496. <https://doi.org/10.12989/scs.2017.25.4.485>.
- Portolés, J.M., Romero, M.L., Bonet, J.L. and Filippou, F.C. (2011), "Experimental study of high strength concrete-filled circular tubular columns under eccentric loading", *J. Constr. Steel Res.*, **67**(4), 623-633. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.11.017>.
- Ren, Q., Li, M., Zhang, M., Shen, Y. and Si, W. (2019), "Prediction of ultimate axial capacity of square concrete-filled steel tubular short columns using a hybrid intelligent algorithm", *Appl. Sci.*, **9**(14). <https://doi.org/10.3390/app9142802>.
- Ren, Y. and Bai, G. (2010), "Determination of optimal SVM parameters by using GA/PSO", *J. Comput.*, **5**(8), 1160-1168. <https://doi.org/10.4304/jcp.5.8.1160-1168>.
- Sarr, P., Shen, S.L., Wang, Z.F., Chen, J., Horribulak, S. and Pham, B.T. (2019), "Optimum model for bearing capacity of concrete-steel columns with AI technology via incorporating the algorithms of IWO and ABC", *Eng. Comput.*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00855-5>.
- Standardization E.C. for and Institution B.S. (2004), "Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1, General rules and rules for buildings".
- Wang, Z.B., Tao, Z., Han, L.H., Uy, B., Lam, D. and Kang, W.H. (2017), "Strength, stiffness and ductility of concrete-filled steel columns under axial compression", *Eng. Struct.*, **135**, 209-221.

- <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.12.049>.
- Xiong, M.X., Xiong, D.X. and Liew, J.Y.R. (2017a), "Axial performance of short concrete filled steel tubes with high- and ultra-high- strength materials", *Eng. Struct.*, **136**, 494-510. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.01.037>.
- Xiong, M.X., Xiong, D.X. and Liew, J.Y.R. (2017b), "Behaviour of steel tubular members infilled with ultra high strength concrete", *J. Constr. Steel Res.*, **138**, 168-183. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.07.001>.
- Yaseen, Z.M., Tung, M., Kam, S., Bakshiipoon, T. and Deo, P.C. (2018), "Shear strength prediction of steel fiber reinforced concrete beam using hybrid intelligence models: A new approach", *Eng. Struct.*, **177**, 244-255. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.074>.
- Zhao, H., (2016), "Analysis of seismic behavior of composite frame structures", *Steel Compos. Struct.*, **20**(3), 719-729. <https://doi.org/10.12989/scs.2016.20.3.719>.
- Zhang, D., Qian, Z., Liu, Y. and Liu, C. (2018), "Prediction and sensitivity analysis of long-term skid resistance of epoxy asphalt mixture based on GA-BP neural network", *Constr. Build. Mater.*, **158**, 614-623. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.056>.

CC

2. 인력양성(석사)

- [증빙 2-1] 제학증명서

문서확인번호 ■ XF1J-EMBE-BV7H-193R ■

제 C - 10886 호

제 학 증 명 서

성 명 : 문아해
생 년 월 일 : 1995 년 3 월 20 일
학 위 과 정 : 석사과정
소 속 : 대학원
학 과 (전 공) : 건축공학과(건축구조)
입 학 일 자 : 2020 년 9 월 1 일
학 기 : 3 학기

위 의 사 실 을 증 명 함.

2022 년 1 월 13 일

세종대학교 교무처장



*본 증명서는 발급일로부터 6개월 이내의 기간동안(www.sejonginwon.com)에서 증명확인이 가능합니다. This certificate can be verified at the website(www.sejonginwon.com) within 6 months from issue date.



- [증빙 2-2] 학위수여예정증명서

문서파일번호: ■ XPJT-95MN-L32F-ZS38 ■

제 D - 10707 호

학위수여예정증명서

성 명 : 임창규
 생 년 월 일 : 1994 년 12 월 28 일
 학 위 과 정 : 석사과정
 소 속 : 대학원
 학 과 (전 공) : 건축공학과(건축구조)
 수 여 예 정 일 : 2022 년 2 월 18 일

위 의 사 실 을 증 명 함.

2021 년 12 월 29 일

세종대학교 교무처장



*본 증명서는 발급일로부터 3개월 이내에 확인 가능합니다(www.sejong.ac.kr)에서 증명확인이 가능합니다. This certificate can be verified at the website(www.sejong.ac.kr) within 3 months from issue date.



3. 특허출원/등록

3.1 특허증

- [증빙 3-1.1] 치장조적벽과 철물의 보강건적 산출시스템 및 그 산출방법

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2331932 호
Patent Number

출원번호 제 10-2021-0053862 호
Application Number

출원일 2021년 04월 26일
Filing Date

등록일 2021년 11월 23일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
치장조적벽과 철물의 보강건적 산출시스템 및 그 산출방법

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2021년 11월 23일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김용래

특허청
Korean Intellectual
Property Office

QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월01일

(11) 등록번호 10-2331932

(24) 등록일자 2021년11월23일

(61) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 60/08 (2012.01) G01N 21/85 (2006.01)

G01V 3/08 (2006.01) G06P 30/13 (2020.01)

G06Q 60/10 (2012.01)

(62) CFC특허분류

G06Q 60/08 (2013.01)

G01N 21/8003 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0063862

(22) 출원일자 2021년04월26일

심사청구일자 2021년04월26일

(30) 우선권주장

1020200134347 2020년10월16일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌

JF2002246146 A*

KR101903003 B1*

KR1020090001682 A*

KR1020170034979 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

(주)미래구조엔지니어링

서울특별시 송파구 뚝섬로 137, 417호, 418호(문정동)

피엑스엔지니어링(주)

경기도 광주시 초월읍 용수길 64-36

세종대학교 산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김용남

경기도 성남시 분당구 동편교로 156 롯데마을9단지
지글호어울림아파트, 904동 1301호

장수연

경기도 부천시 상동로 196 다경한마을상동트란재
아파트, 2101동 1306호

(김영애 제1인)

(74) 대리인

강귀용, 김수진

전체 청구항 수 : 총 6 항

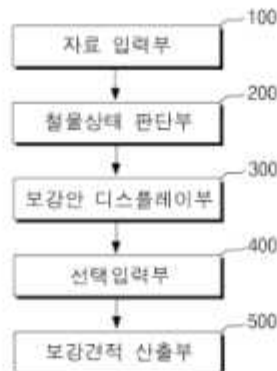
심사관 : 육성원

(54) 발명의 명칭 치장조적벽과 원물의 보강견적 산출시스템 및 그 산출방법

(57) 요약

본 발명은 치장조적벽과 원물의 보강견적 산출시스템에 관한 것으로, 치장조적벽과 치장조적벽에 구조적으로 연결된 원물에 대한 현장 조사자료를 입력받는 자료 입력부; 입력된 현장 조사자료로부터 치장조적벽의 균열상태와 원물의 상태를 판단하는 원물상태 판단부; 치장조적벽의 균열상태와 원물의 상태로부터 치장조적벽과 원물의 결합의 종류를 인식하고, 인식된 결합의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이하는 보강안 디스플레이부; 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는 선택입력부; 및 선택입력된 보강안에 대해 설계기준에 따라 보강견적을 산출하는 보강견적 산출부를 포함한다.

배표도 - 도1



(62) CPC특허분류 G01V 3/08 (2021.01) G06P 30/13 (2020.01) G06Q 60/10 (2016.01) (72) 발명자 함우정 경기도 과천시 문삼읍 독산로 11, 잠안8차아파트, 104동 1004호 김양광 경기도 용인시 수지구 수지로113번길 16, 106동 502호 (삼복동, 삼동마을 강남빌리지) 김선우 경기도 용인시 수지구 신흥1로43번길 32, 302동 802호 (신흥동, 서흥마을환파동애그린)	이기학 서울특별시 송파구 올림픽로4길 42 우성아파트, 2 0동 703호 문형준 서울특별시 서대문구 북아현로1가길 20 e편한세상 신촌1단지, 101동 1506호																		
이 발명을 지원한 국가연구개발사업 <table> <tr> <td>과제고유번호</td><td>1615011595</td></tr> <tr> <td>과제번호</td><td>158044</td></tr> <tr> <td>부위명</td><td>국토교통부</td></tr> <tr> <td>과제관리(전문)기관명</td><td>국토교통과학기술진흥원</td></tr> <tr> <td>연구사업명</td><td>국토교통기술혁신연구(R&D)</td></tr> <tr> <td>연구과제명</td><td>지상6층 지강조각 건물의 상해관제(해부동, 관원, 영지원을 등)과 보강안 도출을 8 시간내에 수행가능한 솔루션 개발</td></tr> <tr> <td>기 여 륜</td><td>1/1</td></tr> <tr> <td>과제수행기관명</td><td>(주)미래구조엔지니어링</td></tr> <tr> <td>연구기간</td><td>2020.04.13 - 2020.12.31</td></tr> </table>	과제고유번호	1615011595	과제번호	158044	부위명	국토교통부	과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원	연구사업명	국토교통기술혁신연구(R&D)	연구과제명	지상6층 지강조각 건물의 상해관제(해부동, 관원, 영지원을 등)과 보강안 도출을 8 시간내에 수행가능한 솔루션 개발	기 여 륜	1/1	과제수행기관명	(주)미래구조엔지니어링	연구기간	2020.04.13 - 2020.12.31	
과제고유번호	1615011595																		
과제번호	158044																		
부위명	국토교통부																		
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원																		
연구사업명	국토교통기술혁신연구(R&D)																		
연구과제명	지상6층 지강조각 건물의 상해관제(해부동, 관원, 영지원을 등)과 보강안 도출을 8 시간내에 수행가능한 솔루션 개발																		
기 여 륜	1/1																		
과제수행기관명	(주)미래구조엔지니어링																		
연구기간	2020.04.13 - 2020.12.31																		

명세서

청구범위

청구항 1

치장조각벽과 상기 치장조각벽에 구조적으로 연결된 원뿔에 대한 현장 조사자료를 입력받는 자료 입력부;
 입력된 현장 조사자료로부터 상기 치장조각벽의 균열상태와 상기 원뿔의 상태를 판단하는 원뿔상태 판단부;
 상기 치장조각벽의 균열상태와 상기 원뿔의 상태로부터 상기 치장조각벽과 상기 원뿔의 결함의 종류를 인식하고, 인식된 결함의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이하는 보강안 디스플레이부;
 상기 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는 선택입력부; 및 선택입력된 보강안에 대해 설계기준에 따라 보강전직을 산출하는 보강전직 산출부;를 포함하고,
 상기 원뿔상태 판단부는 상기 치장조각벽의 균열위치와 상기 원뿔의 설치위치와 치장조각벽의 균열위치와 상기 원뿔의 설치위치의 수평각도 및 수직각도를 보정한 후 도면상에 입면으로 재구성하여 디스플레이하며,
 상기 보강전직 산출부는 선택입력된 보강안에 대해 설계기준에 따라 보강전직을 산출하며, 보강전직에 따른 비용에는 보강 브라켓, 벽에 연결된 원뿔, 줄눈 재시공, 인방보강 및 가설공사에 따른 비용이 포함되는 것을 특징으로 하는 치장조각벽과 원뿔의 보강전직 산출시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 자료 입력부에 포함되는 현장 조사자료는 치장조각벽의 균열사진, 원뿔 탐사결과, 내시경 카메라 사진자료 중 하나 이상이 포함되는 것을 특징으로 하는 치장조각벽과 원뿔의 보강전직 산출시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 치장조각벽의 균열상태는
 상기 치장조각벽의 균열위치와 균열깊이인 것을 특징으로 하는 치장조각벽과 원뿔의 보강전직 산출시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 원뿔상태 판단부는
 상기 치장조각벽의 균열에 따른 보수필요를 판단하는 것을 특징으로 하는 치장조각벽과 원뿔의 보강전직 산출시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 적어도 하나의 보강안은
 상기 치장조각벽과 상기 원뿔 각각에 대한 간콘 수명과 간콘 내력을 감안한 것을 특징으로 하는 치장조각벽과

철물의 보강전력 산출시스템.

청구항 6

단계

발명의 설명

기술분야

- [0001] 본 발명은 치장조력벽과 철물의 보강전력 산출시스템 및 그 산출방법에 관한 것으로, 특히 웹 플랫폼(web platform) 상에서 치장조력벽의 건설상태와 철물의 상태를 판단하여 보강안과 보강전력을 이용자에게 제시하는, 치장조력벽과 철물의 보강전력 산출시스템 및 그 산출방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 이 배경기술 부분에 기재된 사항은 발명의 배경에 대한 이해를 증진시키기 위하여 과립된 것으로서, 이 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래 기술이 아닌 사항을 포함할 수 있다.
- [0003] 학교 등 미관이 중요한 건물에는 치장용으로 조력벽체를 설치하는 경우가 많다. 기존의 치장조력벽은 비 구조부재로서 외력에 대해 저항하는 부재가 아니므로, 구조설계를 진행하지 않고 시공사의 현장 상황에 적합하게 사용하는 경우가 많았다. 그 결과, 강한 지진이나 바람 등에 의해 치장조력벽이 무너져 내리는 피해사례가 증가하고 있다.
- [0004] 치장조력벽의 보강을 위해서는 기존 치장조력벽의 상태를 확인하고 치장조력벽에 연결된 철물 및 철근의 상태를 평가한 후 구조개선에 따른 적절한 보강방법을 제시하는 절차가 필요하다.
- [0005] 그러나, 우리나라에는 아직까지 기존 치장조력벽의 상태를 조사, 평가 및 보강하는 객관적인 기준과 절차가 없는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1027393호 (2011.04.06. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 건설한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명은 웹 플랫폼 상에서 공학적 기술과 객관적 방식을 이용하여 치장조력벽의 건설상태와 철물의 상태를 판단하여 보강안과 보강전력을 이용자에게 제시하는, 치장조력벽과 철물의 보강전력 산출시스템 및 그 산출방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조력벽과 철물의 보강전력 산출시스템은, 치장조력벽과 치장조력벽에 구조적으로 연결된 철물에 대한 현장 조사자료를 입력받는 자료 입력부; 입력된 현장 조사자료로부터 치장조력벽의 건설상태와 철물의 상태를 판단하는 철물상태 판단부; 치장조력벽의 건설상태와 철물의 상태로부터 치장조력벽과 철물의 결합의 종류를 인식하고, 인식된 결합의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이하는 보강안 디스플레이부; 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는 선택입력부; 및 선택입력된 보강안에 대해 설계기준에 따라 보강전력을 산출하는 보강전력 산출부를 포함한다.
- [0009] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 철물상태 판단부는 치장조력벽의 건설위치와 철물의 설치위치를 도면상에 디스플레이한다.

- [0010] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 절물상태 판단부는 치장조적벽의 균열위치와 절물의 설치위치의 수평각도 및 수직각도를 보정한 후 도면상에 일련으로 재구성하여 디스플레이한다.
- [0011] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 치장조적벽의 균열상태는 치장조적벽의 균열위치와 균열길이이다.
- [0012] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 절물상태 판단부는 치장조적벽의 균열에 따른 보수필요를 판단한다.
- [0013] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 적어도 하나의 보강안은 치장조적벽과 절물 각각에 대한 같은 수평과 같은 내력을 가한 것이다.
- [0014] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 치장조적벽과 절물의 보강전적 산출방법은, 자료 입력부에서, 치장조적벽과 치장조적벽에 구조적으로 연결된 절물에 대한 현장 조사자료를 입력받는 단계; 절물상태 판단부에서, 입력된 현장 조사자료로부터 치장조적벽의 균열상태와 절물의 상태를 판단하는 단계; 보강안 디스플레이부에서, 치장조적벽의 균열상태와 절물의 상태로부터 치장조적벽과 절물의 결합의 종류를 인식하고, 인식된 결합의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이하는 단계; 선택입력부에서, 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는 단계; 및 보강전적 산출부에서, 선택입력된 보강안에 대해 절정기준에 따라 보강전적을 산출하는 단계를 포함한다.
- [0015] 한편 본 명세서에 개시된 기술에 관한 설명은 단지 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 개시된 기술에서 개시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0016] 또한 본 발명에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소로 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0017] 나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "-사이에"와 "-사이" 또는 "-에 이웃하는"과 "-에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0018] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- 발명의 효과**
- [0019] 본 발명에 따르면, 웹 플랫폼 상에서 공학적 기술과 관련된 광식을 이용하여 치장조적벽의 균열상태와 절물의 상태를 판단하여 보강안과 보강전적을 이용자에게 제시할 수 있다.
- 도면의 간단한 설명**
- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조적벽과 절물의 보강전적 산출시스템의 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조적벽과 치장조적벽에 연결된 절물의 절면을 나타낸 개략도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조적벽과 절물의 보강전적 산출방법의 흐름도이다.
- 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**
- [0021] 이하, 본 발명이 속하는 선택적인 실시예를 참고로 하여 더욱 상세하게 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조적벽과 절물의 보강전적 산출시스템의 블록도이고, 도 2는 본 발명의

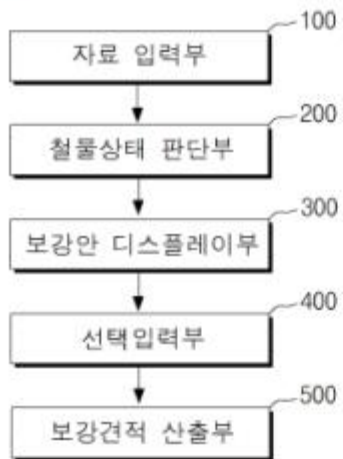
앞 실시예에 따른 치장조각벽과 치장조각벽에 연결된 필름의 정면을 나타낸 개략도이다.

- [0023] 도 1 및 도 2를 참조하면, 치장조각벽과 필름의 보강전적 산출시스템(1000, 이하 '보강전적 산출시스템')은 자료 입력부(100), 필름상태 판단부(200), 보강안 디스플레이부(300), 선택입력부(400) 및 보강전적 산출부(500)를 포함할 수 있다.
- [0024] 자료 입력부(100)는 치장조각벽과 치장조각벽에 구조적으로 연결된 필름(이하 '필름')에 대한 현장 조사자료를 입력받는다. 보강전적 산출시스템(1000)은 웹 플랫폼(web platform) 상에서 구현될 수 있어 현장 조사결과로부터 빠른 보강전적 산출이 가능하다. 현장 조사자료는 치장조각벽의 균열사진, 필름 탐사결과, 내시경 카메라 사진자료가 포함될 수 있다. 치장조각벽의 균열사진에는 개구부 경사균열, 모서리부 균열 등이 확인될 수 있다.
- [0025] 필름상태 판단부(200)는 입력된 현장 조사자료로부터 치장조각벽의 균열상태와 필름의 상태를 판단한다. 여기서, 필름상태 판단부(200)는 치장조각벽의 균열위치와 필름의 설치위치를 도면상에 디스플레이한다. 구체적으로, 필름상태 판단부(200)는 치장조각벽의 균열위치와 필름의 설치위치의 수평각도 및 수직각도를 보정한 후 도면상에 입면으로 재구성하여 디스플레이한다. 또한, 필름상태 판단부(200)는 치장조각벽의 균열에 따른 보수 길이를 판단한다.
- [0026] 또한, 적어도 하나의 보강안은 치장조각벽과 필름 각각에 대한 같은 수명과 같은 내력을 감안한다.
- [0027] 보강안 디스플레이부(300)는 치장조각벽의 균열상태와 필름의 상태로부터 치장조각벽과 필름의 결합의 종류를 인식하고, 인식된 결합의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이한다. 여기서, 치장조각벽의 균열상태는 치장조각벽의 균열위치와 균열길이이다. 또한, 적어도 하나의 보강안은 치장조각벽과 필름 각각에 대한 같은 수명과 같은 내력을 감안한 것이다.
- [0028] 선택입력부(400)는 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는다. 이때, 이용자는 적어도 하나의 보강안 중에서 적합하다고 생각하는 보강안을 선택하여 입력할 수 있다.
- [0029] 보강전적 산출부(500)는 선택입력된 보강안에 대해 설정기준에 따라 보강전적을 산출한다. 보강전적에 따른 비용에는 보강 브라켓, 벽에 연결된 필름, 굵은 재시공, 인방보강 및 가설공사에 따른 비용이 포함될 수 있다.
- [0030] 이렇지 하여, 공학적 기술과 객관적 통찰을 이용하여 치장조각벽의 균열상태와 필름의 상태를 판단하여 보강안과 보강전적을 제시할 수 있다.
- [0031] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조각벽과 필름의 보강전적 산출방법의 흐름도이다.
- [0032] 도 3을 참조하면, 치장조각벽과 필름의 보강전적 산출방법은 아래와 같다. 보다 구체적인 사항은 위의 도 1과 관련한 설명을 참조하기로 한다.
- [0033] 먼저, 자료 입력부(100)에서, 치장조각벽과 치장조각벽에 구조적으로 연결된 필름에 대한 현장 조사자료를 입력받는다(S100). 현장 조사자료는 치장조각벽의 균열사진, 필름 탐사결과, 내시경 카메라 사진자료가 포함될 수 있다. 치장조각벽의 균열사진에는 개구부 경사균열, 모서리부 균열 등이 확인될 수 있다.
- [0034] S100 이후, 필름상태 판단부(200)에서, 입력된 현장 조사자료로부터 치장조각벽의 균열상태와 필름의 상태를 판단한다(S200). 여기서, 필름상태 판단부(200)는 치장조각벽의 균열위치와 필름의 설치위치를 도면상에 디스플레이한다.
- [0035] S200 이후, 보강안 디스플레이부(300)에서, 치장조각벽의 균열상태와 필름의 상태로부터 치장조각벽과 필름의 결합의 종류를 인식하고, 인식된 결합의 종류에 따른 적어도 하나의 보강안을 디스플레이한다(S300). 여기서, 치장조각벽의 균열상태는 치장조각벽의 균열위치와 균열길이이다. 또한, 적어도 하나의 보강안은 치장조각벽과 필름 각각에 대한 같은 수명과 같은 내력을 감안한 것이다.
- [0036] S300 이후, 선택입력부(400)에서, 적어도 하나의 보강안 중에서 하나의 보강안에 대한 선택입력을 받는다(S400). 이때, 이용자는 적어도 하나의 보강안 중에서 적합하다고 생각하는 보강안을 선택하여 입력할 수 있다.
- [0037] S400 이후, 보강전적 산출부(500)에서, 선택입력된 보강안에 대해 설정기준에 따라 보강전적을 산출한다(S500). 보강전적에 따른 비용에는 보강 브라켓, 벽에 연결된 필름, 굵은 재시공, 인방보강 및 가설공사에 따른 비용이 포함될 수 있다.
- [0038] 참고로, 아래에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 치장조각벽과 필름의 보강전적 산출시스템을 이해하기 위한 치장조각 보강기준에 대해 설명하기로 한다.

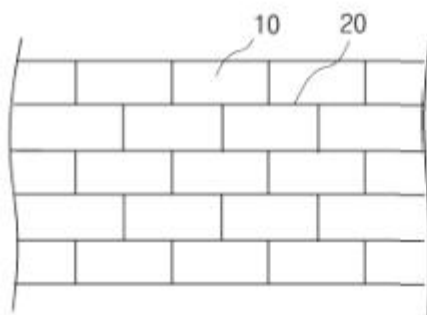
- [0039] 이 기준은 절물의 교차시공과 관련하여 다음과 같은 사항을 다루고 있다.
- [0040] 1) 절물의 밀도와 배치 그리고 기존 벽체의 구조를 확인하기 위한 현장조사
- [0041] 2) 일반 벽에서 절물에 대한 살포법 방법과 빈도 기준
- [0042] 3) 절물의 부식상태 등과 구분을 위해 육안에 의한 방법과 감여 아연도금의 양을 질량적으로 추정하는 방법을 이용하여 감여수명을 추정하고, 담기적 및 장기적 관점에서의 보수방법 추진
- [0043] 4) 보수를 연결절물의 밀도와 배치 관련하여 구조기준에 의한 조항을 따른 것인지 계산에 의한 것인지 고려
- [0044] 5) 내부와 외부의 조적 벽 모두에 유효한 보수를 벽 이용 공법의 선택과 검증
- [0045] 6) 선택받은 시스템의 제작 전 테스트를 위한 살포법 기술과 살포법 비용
- [0046] 7) 운영자, 감독, 독립적인 전문가로 하여금 시공이 시방에 의하여 수행되고 있다는 것을 확인할 수 있도록 하는 공사 중 품질관리 체크사항. 여기에는 육안점검, 파손된 부재들과 낡은 벽 연결절물에 대한 체크, 내부 조적에 적절한 연결되었는지 확인하는 시험, 도크를 확인하기 위한 확광기, 내시경카메라(bore scope)와 감속 탐지기를 이용한 조사 포함
- [0047] 8) 선택적인 통찰이 만족할 수준인지 확인하기 위한 무작위 검사(random examination) 그리고 최후적인 최종 검사
- [0048] 9) 시공과 관련한 설계근거를 확인할 수 있는 품질보증 문서
- [0049] 10) 보증
- [0050] 1. 현장조사
- [0051] 공공벽의 하자과 관련한 업무를 시작하기에 앞서, 해당 벽체가 공공벽이라는 것을 우선 확인해야 한다. 공공벽(cavity wall)의 내벽은 조적이 일반적이지만, 목조, 콘크리트 또는 절판(frame)일 수도 있다.
- [0052] 조적조의 공법은 건물의 높이에 따라 중공벽에서 슬리트 벽으로 바뀌게 된다. 중벽로 마감이 바뀌는 곳이나 아래 벽에 대해서는 특별히 관심을 가져야 한다. 미려한 외관을 가진 치장중공벽은 1층에 사용하고 그 위층은 타일자짐 붙어 있는 슬리트 벽체를 사용하는 것이 일반적이다. 오래된 건물의 평면 중축이나 수직중축부는 원래 공법과는 다른 경우가 많다.
- [0053] 대부분의 시공 상태별로 적용할 수 있는 보수기술이 있는데, 부적절한 공법을 적용한 경우에는 값비싼 지면을 야기할 수 있다. 외문스러운 경우에는, 벽을 내시경으로 확인하거나 벽돌을 제거한 후 육안조사를 해야 한다.
- [0054] 보수공사에 착수하기 전, 기존의 연결절물 상태를 관찰하고, 적절한 보강방법을 결정하기 위해서 Digest 329(Installing wall ties in existing construction)를 활용할 수 있다. 이것은 보수를 위한 적당한 보수를 연결절물을 결정하는데 도움이 될 것이다.
- [0055] 벽의 공법별로 보수를 자재를 선택해야 하는 것에 유의해야 한다. 매우 부트임거나 매우 단단한 재료 그리고 공공이 있는 벽돌 벽과 마주치게 되면 문제가 발생한다. 기존의 공공부를 채우고 있는 단열재는 현장의 어려움을 증가시킨다. 공법의 선택에 있어서 내화성능, 방수성능, 심미적 기능 그리고 단열성능과 함께 구조적 성능도 함께 고려해야 한다.
- [0056] 벽 연결재 개시공 과정에서 손상되는 단열재는 개시공을 해서 중공부의 단열층의 성능을 유지하는 것이 중요하다. 지금까지는 연결절물의 열교현상(cold bridge)에 대하여 별도로 고려하지 않았지만 향후에는 이것도 이슈화될 것이다. 기존의 연결절물을 제거하는 것이 기술적으로 좋고, 크랙이 났다면 공사비를 무체화할 수 있도록 연결절물을 조사해야 한다. 각 일면 당 최소 6m²의 면적을 감속 탐지기를 이용하여 조사하고, 내시경카메라로 조사할 위치를 표시한다. 개구부가 있는 경우에는 대표적인 샘플을 얻을 수 있도록 주의해야 한다. 만약, 벽돌 내에 감속성분이 들어있어 감속탐지기가 오류를 보인다면 내시경 조사가 대안이 될 수 있다. 손상이 벽의 단열성에 영향을 줄 수 있는 경우에는 작업자에 대한 안전영향까지 고려해서 위험부위에 대한 철저 후 개시공을 검토하여야 한다.
- [0057] 2. 문서작업
- [0058] 설치과업은 건축주가 행위준칙으로 보유할 수 있도록 문서작업과 병행되어야 한다. 문서는 시방과 함께 다음사

도면

도면1



도면2



도면3



- [증빙 3-1.2] 기존건축물의 조적용 줄눈모르타르 접착강도 검사장치 및 이의 이용방법



특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2310774 호
Patent Number

출원번호 제 10-2020-0049106 호
Application Number

출원일 2020년 04월 23일
Filing Date

등록일 2021년 10월 01일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
기존 건축물의 조적용 줄눈모르타르 접착강도 검사장치 및 이의 이용방법

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2021년 10월 01일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래

특허청
Korean Intellectual Property Office

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년10월13일

(11) 등록번호 10-2310774

(24) 등록일자 2021년10월01일

(61) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 19/04 (2006.01)

(62) CPC특허분류

G01N 19/04 (2013.01)

G01N 3/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0049106

(22) 출원일자 2020년04월23일

심사청구일자 2020년04월23일

(66) 선행기술조사문헌

JP2004347066 A*

JP4430445 B2*

JP4663863 B2*

JP466322 B2*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

피에스엘지나이어빌(주)

경기도 광주시 조원읍 용수길 64-36

(주)비태쿠르엔지니어링

서울특별시 송파구 뚝섬로 127, 417호, 418호(문정동)

(72) 발명자

김성우

경기도 용인시 수지구 신동1로48번길 32, 302동 502호 (신동동, 서울아산대학교병원)

김양준

경기도 용인시 수지구 수지로113번길 16, 106동 502호(삼북동, 성동마을 강남빌리지)

김용남

경기도 성남시 분당구 용판교로 166, 904동 1301호 (삼계동, 롯데마을)

(74) 대리인

강귀용, 김수진

전송 청구항 수 : 총 6 항

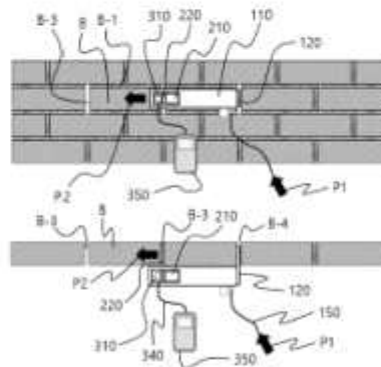
심사관 : 권준형

(54) 발명의 명칭 기판 건축물의 조적용 줄눈모르타르점착강도 검사장치 및 이의 이용방법

(57) 요약

본 발명은 기판건축물의 조적 벽체에 대한 벽돌과 조적용 줄눈모르타르의 점착강도를 검사하는 검사장치 및 이의 이용방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 기존의 외루치장력벽을 보강설계에 필수 요소인 줄눈모르타르의 점착강도를 미리 파악하여 이에 따라 보강재의 적정 규격과 설치간격 및 설치깊이 등이 설계될 수 있도록 하는 조적용 줄눈모르타르의 점착강도를 검사하는 검사장치 및 이의 이용방법에 관한 것이다.

배표도 - 도7d



(62) CPC특허분류
G01N 2203/0003 (2013.01)
G01N 2203/0048 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1616011596
과제번호	168044
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술혁신연구(R&D)
연구과제명	지상5층 직장교차 건물의 상태관정(측부동, 균열, 축하량측정 등)을 포함한 구조물 8
시간내에 수행가능한 솔루션 개발	
기 역 른	L/I
과제수행기관명	(주)미래구조엔지니어링
연구기간	2020.04.13 - 2021.12.31

명세서**청구범위****청구항 1**

조직벽체를 구성하는 검사대상 벽돌(B)을 대상으로 줄눈모르타르와의 접착강도를 검사하기 위한 검사장치(A)에 있어서,

유압펌프와 연결되어 유압(P1)을 전달받는 본체부(100); 유압(P1)으로 인해 작용하는 가력하중(P2)을 검사대상 벽돌(B)로 전달하는 로드부(200); 로드부(200)와 검사대상 벽돌(B)간의 가력하중(P2)을 검측하고, 검측되는 가력하중(P2)을 수치화하는 로드셀부(300); 및 전원부(400);를 포함하며,

상기 본체부(100)는

유압에 의한 가력을 발생시키는 검사장치 본체(110)와, 검사장치 본체(110)의 일측에 연결이음되며, 검사대상 벽돌(B) 하측의 제2 수직줄눈 모르타르(B-4)가 제거된 지점에 소정의 길이로 삽입되도록 검사장치 본체(110)가 연장되는 제1 방향과 직교하는 제2 방향으로 연장되는 지지관(120)과, 지지관(120)의 외측면에 부착되는 지지고 두판(130)과, 지지관(120)의 변형을 억제시키는 지지관 보강편(140)과, 검사장치 본체(110)에 연결되어 유압원으로부터 유압오일을 공급하는 유압호스(150) 및 유압오일로 인한 유압강도를 표시하는 유압계(160)를 포함하며,

로드부(200)는

검사장치 본체(110)에서 발생되는 유압으로 외부에 가력을 발생시키는 로드(210)와, 로드(210)의 일측에 연결이음되며, 검사대상 벽돌(B) 일측의 제1 수직줄눈 모르타르(B-3)가 제거된 지점에 소정의 길이로 삽입되도록 제2 방향으로 연장되는 가력관(220)과, 가력관(220)의 외측면에 부착되는 가력고두판(230) 및 가력관(220)의 변형을 억제시키는 가력관 보강편(240)을 포함하며,

로드셀부(300)는

가력관(240)에서 발생되는 가력하중 정도를 검측하는 로드셀(310)과, 검사장치 본체(110)와 연결이음되며 로드셀(310)을 지지하는 로드셀 지지관(320)과, 로드셀(310)을 적정위치에 설치할 수 있도록 적정의 두께를 지닌 로드셀 높이조절원판(330) 및 로드셀(310)에서 검측되는 하중강도를 수치로 표시하도록 로드셀 케이블(340)의 일단부에 결합되는 인디케이터(360)를 포함하는 것을 특징으로 하는 조직용 줄눈모르타르의 접착강도 검사장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 전원부(400)는

검사대상 벽돌(B)과 인접한 벽돌을 제거하여 형성된 벽돌 제거공간(C)에 검사장치(A)가 삽입설치되어 줄눈 모르타르의 접착강도를 검사하는데 있어, 지지관(120), 가력관(220) 및 로드셀 지지관(310)이 제거되고 대체되도록 구성되며,

지지관(120)을 제거하고 검사장치(A)의 일면에 삽입 설치되는 지지원판(410)과,

가력관(220)을 제거하고 로드(210)와 로드셀(310) 사이에 삽입 설치되는 로드셀 받침원판(420)과,

로드셀 지지관(320)을 제거하고 검사대상 벽돌(B) 밑에 삽입 설치되는 가력원판(430)을 포함하는 것을 특징으로 하는 조직용 줄눈 모르타르의 접착강도 검사장치.

청구항 3

제 1 항의 검사장치(A)를 이용하여 조직벽체를 구성하는 검사대상 벽돌(B)과 줄눈모르타르와의 접착강도를 검사

하는 검사방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)을 기준으로 일측의 제1 수직줄눈 모르타르(B-3)와 타측의 제2 수직줄눈 모르타르(B-4)를 부딪힘으로써 제거하는 단계(S100);

제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)가 제거된 제거공간에 검사장치(A)의 지지관(120)과 가벽판(220)을 각각 삽입하여 검사장치(A)를 설치하는 단계(S110);

로보셀부(300)가 가벽하중(P2)을 검측할 수 있도록 로보셀 지지관(320)과 가벽판(220) 사이에는 로보셀 케이블(340)에 의해 인디케이터(360)가 연결된 로보셀(310)을 삽입 설치하는 단계(S120);

유압펌프에 의한 유압(P1)에 따라 정진 가벽하여 검사대상 벽돌(B)에 가벽하중(P2)이 작용하며, 가벽하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B2)가 이격 파괴되는 순간의 하중을 로보셀 케이블(340)에 의해 로보셀(310)에 연결된 인디케이터(360)로 검측하는 단계(S130);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 검사방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 검사장치 설치단계(S110)는

검사장치(A) 설치 시 지지관 보강편(140)과 가벽판 보강편(240)의 간섭으로 인해 벽돌에 걸리는 경우에는 지지관 보강편(140)과 가벽판 보강편(240)이 간섭되는 위치를 대상으로, 전동공구를 통해 제거하여 검사장치(A)가 벽돌 면에 밀착되도록 설치되는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 검사방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 인디케이터 검측단계(S130)는

인디케이터(360)에 의해 측정된 최고 하중값과, 검사대상 벽돌(B)의 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B-2)의 결합면적을 나눈 줄눈 모르타르의 단위면적당 결합강도를 산출하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 검사방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서,

검사대상 벽돌(B)과 인접한 벽돌을 제거하여 형성된 벽돌 제거공간(C)에 검사장치(A)를 삽입하여 검사대상 벽돌(B)과 조적용 줄눈모르타르의 결합강도를 검사하는 검사방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)의 좌우 양측에 구성된 제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)와, 검사대상 벽돌(B)의 일측면에 인접한 벽돌을 제거하여 벽돌 제거공간(C)을 형성하는 단계(S200);

원편부(400)가 구성된 검사장치(A)를 벽돌 제거공간(C)에 삽입 설치하는 단계(S210);

원편부(400)의 로보셀 반침원편(420)과 가벽원편(430)을 삽입하고, 로보셀 반침원편(420)과 가벽원편(430) 사이에 로보셀(310)을 설치하는 단계(S220);

유압펌프에 의한 유압(P1)에 따라 정진 가벽하여 검사대상 벽돌(B)에 가벽하중(P2)이 작용하며, 가벽하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B-2)가 이격 파괴되는 하중을 로보셀(310)의 인디케이터(360)로 검측하는 단계(S230);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 검사방법.

발명의 설명**기술 분야**

- [0001] 본 발명은 기존 건축물의 조직용 모르타르 접착강도 검사장치 및 이의 이용방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 기존 건축물 외부 치장적벽돌벽 내진보강 설계의 주요요소인 줄눈 모르타르와 적벽돌과의 접착강도를 측정할 수 있는 검사장치 및 이를 이용한 검사방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 전 세계적인 대규모의 지진발생이 과거에 비해 빈번해지면서 수많은 재산과 인명피해가 증가되는 추세이다. 국내에서도 지진발생빈도가 증가추세이며 2016년 9월 규모 5.8의 경주지진과 2017년 11월 규모 5.5의 포항지진이 발생하면서 지진취약시설의 파손과 함께 조직용 건축물에 막대한 피해를 초래하였다. 특히 외부치장 적벽돌의 붕괴 등으로 비구조체에 대한 위험인식이 고쳐지고 있으며, 2019년 5월 부산대학교 미술관의 외부치장 적벽돌벽 붕괴사고로 인한 인명피해는 지진이 없는 평상시에도 노후 치장벽돌의 붕괴위험이 있다는 사례가 되고 있다.
- [0003] 일련의 국내 지진으로 내진설계 규정이 강화되면서 신축건축물의 외부치장 적벽돌벽에 대한 내진설계기준은 EDS 41.34등에 정립되어 있으나, 노후 기존 건축물의 외부치장 적벽돌벽의 경우 내진보강 설계 및 시공기준이 없어서 임의로 보강설계와 시공이 이루어지고 있는 실정이다.
- [0004] 실제로 외부치장 적벽돌벽의 보강방법으로 많이 사용되는 스테인리스 계열의 나선형보강관의 경우 재료의 구조적 성능에만 기초하여 설치간격 및 고이 등이 보강회사 별로 자의적인 설계에 의해 시행되고 있다.
- [0005] 그러나 당초 신축공사 시 설치된 보강철물(연결철물 또는 Wall tie)의 시공상태와 부식정도, 적벽돌 및 시멘트 벽돌은 물론 줄눈 모르타르의 시간경과에 따른 노후화 및 강도저하가 보강설계 시에 고려되어야 하는 것이 원칙이다.
- [0006] 신축공사 시 설치된 보강철물의 시공상태와 부식정도는 현장에서 파악하기가 어렵기 때문에, 외부에 노출되어 있어서 접근이 가능하고 작업원의 시공품질에 의하여 변동폭이 큰 줄눈 모르타르의 접착강도를 현장에서 확인하여 보강설계에 반영하여야 한다.
- [0007] 신축공사 시에는 조직공사에 사용되는 조직용 줄눈모르타르에 대한 공시체를 현장에서 채취하여 강도검사를 시행할 수 있으나 노후 기존건축물의 조직용 줄눈모르타르에 대한 접착강도를 측정할 수 있는 장치 또는 기법이 매우 취약한 현실이다.
- [0008] 선행기술들을 일례로 살펴본다면, 도 1에 도시된 바와 같이, 공개특허 10-2019-0043673호의 '집서구조, 집서구조 부속부재, 집서구조의 패터닝 방법'은 도전재로 구성되는 벽모양의 배이스트(20)의 표면에 고정항부분 돌진구(40) 및 저저항부분 돌진구(30)의 배열을 포함하는 범위의 전기저항치의 변화에 의해서 플러현상을 검출하며, 이것에 의해 여러 가지 부재의 상태를 직관적으로 측정 가능하게 하여 건축물 전체의 보수관리 시기의 판단이나 혹은 유선적 보수부위를 명확화하는 방법으로서, 이러한 방법은 건축물의 취약부위에 대한 건축에 유리할 뿐 조직용 줄눈모르타르의 접착강도를 판단하기에는 부적합할 뿐만 아니라 특수전측 전문가가 요구되어 일반 기술자가 수행하기에는 불가능한 단점이 있다.
- [0009] 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 일본 공개특허 JP.2007240396.A호의 '벽돌벽공의 줄눈조각 타음검사방법'은 조직벽면 여러개소에 스트라이커를 이용한 타격으로 인해 발생되는 벽면의 진동에 의한 음파로부터 벽돌 줄눈부의 파손 정도를 검출하는 방법으로서, 이러한 방법은 줄눈 모르타르의 파손부위를 파악할 뿐 줄눈모르타르의 접착강도를 파악할 수 없는 문제점이 있다.

선행기술문헌**특허문헌**

- [0010] (특허문헌 0001) [문헌1] 공개특허 10-2019-0043673, (2019.04.26) 집서구조, 집서구조 부속부재, 집서구조의 패터닝 방법

(특허문헌 0002) [문헌2] JP.2007240395.A (2007.09.20) / 벽돌벽공의 줄눈 하중검사 방법

비특허문헌

각제

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 조적조 구조물은 시멘트모르타르 결합재에 의해 각 벽돌개체들의 축조방식으로 이루어지며, 축조 시에 보강철물(연결철물 또는 Wall Tie)들을 함께 사용하게 된다. 그러나 시공의 경과에 따라 보강철물의 부식과 함께 벽돌 및 시멘트벽돌은 물론 줄눈모르타르의 노후화로 성능이 저하된다. 특히 줄눈모르타르는 기동인력의 기능도에 의한 시공품질이 크게 다르므로 노후화에 의한 성능저하가 가장 심하여 기존 조적조 건축물의 안전성에 가장 중요한 요소가 된다.

[0013] 본 발명은 기존 조적조 건축물에 대한 내진보강 설계에 있어서 벽돌개체와 결합재인 줄눈모르타르의 결합강도를 미리 파악하여 설계에 반영할 수 있도록 조적용 줄눈모르타르 결합강도의 검사장치 및 이를 이용방법을 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명은 기존의 조적조 건축물에서 벽돌 개체를 결합시킨 조적용 줄눈모르타르의 결합강도를 검사하기 위한 검사장치 및 이를 이용한 검사방법에 있어서,

[0015] 검사장치는 유압 가력 시 가력하중 지기단 역할을 하는 지지편이 유압실린더 하단에 부착된 본체부와 검사대상 벽돌에 수평하중을 가력할 수 있는 가력편이 부착된 로드부 및 가력하중을 검출할 수 있는 로드셀을 장착할 수 있는 로드셀부로 구성되는 조적용 줄눈모르타르의 결합강도 검사장치와,

[0016] 검사대상 벽돌의 양측 수직줄눈 모르타르와 검사장치의 지지편 삽입위치의 수직 줄눈모르타르를 부진공으로 제거하는 단계, 수직줄눈 모르타르 제거공간에 검사장치의 가력편과 지지편을 삽입하여 검사장치를 설치하는 단계, 로드셀부에 가력하중을 검출할 수 있는 로드셀을 설치하는 단계, 유압실린더를 이용하여 검사장치 본체에 유압을 가압하여 검사대상 벽돌과 수평줄눈 모르타르와 이격 제거되는 하중을 로드셀을 이용하여 검출하는 검사 단계로 이루어진 것에 특징이 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명은 기존의 노후 외부기장벽돌 벽체에 내진보강용으로 많이 사용되는 나선보강면 등의 보강재를 이용한 보강설계에 있어서, 나선보강면의 적정 규격 및 설치간격과 설치깊이 등을 설계에 반영할 수 있도록 벽돌개체와 결합재인 줄눈모르타르의 결합강도를 미리 파악하여 줄눈모르타르의 노후도에 대한 정보를 제공함으로써 현재 이루어지고 있는 일의 설계가 구조적 수치해석에 의한 설계가 될 수 있게 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 기존 선행기술인 전서구조, 전서구조 부착부재, 전서구조의 패러닝 방법 개요도

도 2는 기존 선행기술인 벽돌벽공의 줄눈 하중검사 방법 개요도

도 3은 본 발명의 조적용 줄눈모르타르 결합강도 검사장치의 개요도

도 4는 조적용 줄눈모르타르 결합강도 검사장치의 세부 상세도

도 5는 조적용 줄눈모르타르 결합강도 검사장치의 사시도

도 6a내지 도 6b는 조적용 줄눈모르타르 결합강도 검사장치의 실시 예를 나타내는 단면상세도와 입면상세도

도 7a내지 도 7d는 조적용 줄눈모르타르 결합강도 검사장치를 이용한 현장검사 실시 예를 나타내는 단면별 공정 상세도

도 8은 모르셀 지지판을 제거한 검사장치를 벽을 한장 제거 공간에 삽입하여 줄눈모르타르 결합강도 검사의 실시예를 나타내는 단면상세도

도 9a내지 도 9b는 모르셀 지지판을 제거한 검사장치를 이용한 현장 검사 실시예를 나타내는 단면별 공정 상세도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 조적조 건축물의 구조적 특성은 벽돌 하나하나를 각기 개체로 받아들여서 형성된 벽체이므로 수직하중에는 견딜 수 있으나 지진동과 같은 수평하중에는 벽돌 각기 개체별로 작동하여 매우 취약한 특성이 있으며,
- [0020] 특히, 내부의 시멘트벽돌벽 또는 콘크리트 벽체에 단열재를 붙이고 외부에 외장목재로 쌓는 공간활용기의 외부 치장벽돌벽 벽체는 시공당시 설치한 보강철물(연결철물 또는 wall tie)이 시간 경과에 따른 부식으로 제 역할을 하지 못할 뿐만 아니라 조적조 줄눈모르타르도 노후화에 의한 강도 저하로 인하여 풍화에 의한 사고 사례가 빈번한 실정이다.
- [0021] 기존의 외부치장벽돌벽 벽체에 보강목재로 부식된 기존 보강철물 대응으로 스테인리스 재질의 나선보강편을 설치하는 경우가 많으나 기존의 줄눈모르타르에 대한 결합강도를 파악하기 못하고 나선보강편의 구조적 성능에 한 기호하여 설치간격 및 설치깊이 등이 힘의 설계에 의존하고 있는 것이 현실이다.
- [0022] 그러므로 노후된 기존 건축물의 외부치장벽돌벽 벽체를 보강하기 위한 설계 전에 조적조 줄눈모르타르의 결합강도를 파악하는 것은 보강설계의 중요한 요소가 된다.
- [0023] 본 발명은 조적조 줄눈모르타르의 결합강도를 측정할 수 있는 검사장치 및 이의 이용방법에 관한 것으로서, 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0024] 도 3은 검사장치(A)의 구성을 나타내는 개요도로서, 상기 검사장치(A)는 본체부(100), 모르부(200) 및 모르셀부(300)로 구성된다.
- [0025] 도 4는 검사장치(A)의 상세한 구성을 나타내는 검사장치의 세부 상세도로서, 상기 본체부(100)는 유압에 의한 가력을 발생시키는 검사장치 본체(110)와, 검사장치 본체(110)의 일측에 용접이송되는 지지관(120)과, 지지관(120)의 외측면에 부착되는 지지코루판(130)과, 지지관(120)의 변형을 억제시키는 지지관 보강편(140)과, 검사장치 본체(110)에 연결되어 유압펌프로부터 유압오일을 공급하는 유압호스(150) 및 유압오일로 인한 유압정도를 표시해주는 유압계(160)로 구성된다.
- [0026] 상기 모르부(200)는 검사장치 본체(110)에서 발생되는 유압으로 외부에 가력을 발생시키는 모르(210)와, 모르(210)의 일측에 용접이송되는 가력관(220)과, 가력관(220)의 외측면에 부착되는 가력코루판(230) 및 가력관(220)의 변형을 억제시키는 가력관 보강편(240)으로 구성된다.
- [0027] 상기 모르셀부(300)는 가력관(240)에서 발생되는 가력하중 정도를 검측하는 모르셀(310)과, 검사장치 본체(110)와 용접이송되어 모르셀(310)을 지지해주는 모르셀 지지관(320)과, 모르셀(310)을 격정위치에 설치할 수 있도록 격정의 두께를 지닌 모르셀 높이조절판(330) 및 모르셀(310)에서 검측되는 하중정도를 수치로 표시하여 알 수 있게 하는 인디케이터(360)와 모르셀 케이싱(340)로 구성된다.
- [0028] 도 5는 상기 검사장치(A)에 대한 이해를 돕기위하여 도시된 검사장치의 사시도이다.
- [0029] 도 6a 내지 도 6b는 검사장치(A)의 실시 예를 나타내는 단면상세도와 입면상세도이다.
- [0030] 도 7a 내지 도 7d는 검사장치(A)를 이용한 현장 검사 실시 예를 나타내는 단면별 공정 상세도이다.
- [0031] 상기 단면별 공정 상세도에 따르면, 검사대상 벽돌(B)을 기준으로 일측의 제1 수직줄눈 모르타르(B-3)와 타측의 제2 수직줄눈 모르타르(B-4)를 무인동으로 제거하는 단계, 상기 제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)가 제거된 제거공간에 검사장치의 지지관(120)과 가력관(220)을 각각 삽입하여 검사장치(A)를 설치하는 단계, 모르셀부(300)가 가력하중을 검측할 수 있도록 모르셀(310)을 설치하는 단계, 유압펌프를 이용하여 검사장치 본체(110)에 유압(P1)을 가압하여 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B-2)와 이격 파괴되는 하중을 모르셀(310)을 이용하여 검측하는 검사단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 조적조 줄눈모르타르 결합강도 검사장치 및 이의 이용방법을 제공한다.
- [0032] 이하, 첨부된 도 7a내지 도 7d를 참조하여 전술한 기술의 바람직한 실시 예를 통하여 본 발명을 용이하게 이해

하고 개편할 수 있도록 상세히 설명한다.

- [0033] 첫째로, 도 7a는 검사대상 벽돌(B)을 기준으로 좌우 양측에 각각 구성된 제1, 2 수직줄은 모르타르(B-3, B-4)를 제거하는 단계이다. 상기 검사대상 벽돌(B)의 상하부에 구성된 상부줄은 모르타르(B-1)와 하부줄은 모르타르(B-2)와의 접착강도를 검사하기 위하여 검사대상 벽돌(B)의 좌우 양측의 제1, 2 수직줄은 모르타르(B-3, B-4)를 부진동 진동공구를 이용하여 제거한다. 이때, 검사대상 벽돌(B)의 상부줄은 모르타르(B-1)와 하부줄은 모르타르(B-2)의 위치까지 감유물이 없도록 깨끗하게 제거한다.
- [0034] 둘째로, 도 7b는 검사장치(A)를 설치하는 단계이다. 이미 제거된 제1 수직줄은 모르타르(B-3)의 공간에 지지판(120)을 삽입하고, 제2 수직줄은 모르타르(B-4)의 공간에 가력판(220)을 삽입하여 검사장치(A)를 설치한다. 지지판(120)과 가력판(220)의 외측면에는 가력 시 벽돌과의 밀착을 돕기 위하여 1mm 정도의 얇은 두께의 지지고무판(130)과 가력고무판(230)이 부착된다.
- [0035] 또한, 검사장치(A) 설치 시 지지판 보강판(140)과 가력판 보강판(240)이 벽돌에 걸리는 경우에는 보강판(140, 240)이 걸리는 위치의 모서리를 핸드셋터 진동공구를 이용하여 제거하고, 검사장치(A)가 벽돌면에 밀착되게 설치하는 것이 바람직하다.
- [0036] 셋째로, 도 7c는 로드셀부(300)에 로드셀(310)을 설치하는 단계로서, 로드셀 지지판(320)과 가력판(220) 사이에 로드셀 케이블(340)에 의해 인디케이터(360)가 연결된 로드셀(310)을 삽입 설치한다. 이때, 로드셀(310)과 로드셀 지지판(320) 사이의 공간에는 로드셀 밀면측에 로드셀 높이조절물(330)을 끼워서 공간이 없도록 하고 유압 펌프를 미세하게 작동시켜 로드셀(310)의 유격이 없도록 하여야 한다.
- [0037] 넷째로, 도 7d는 줄눈모르타르의 접착강도를 검사하는 단계로서, 검사장치(A)에 유압펌프를 이용하여 서서히 유압펌프 가압하여 유압(P1)을 상승시키면 가력판(220)에 가력하중(P2)이 검사대상 벽돌(B)에 작용하여 어느 순간에 검사대상 벽돌(B)의 상하부 줄은 모르타르(B-1, B-2)와 이격되며 파괴하게 된다.
- [0038] 이때, 인디케이터(360)에 나타난 최고 하중값을 관측하고, 이 하중값을 검사대상 벽돌(B)의 상부 및 하부 줄은 모르타르(B-1, B-2)의 접착면적으로 나누면 줄눈모르타르의 단위당 접착강도를 구할 수 있다.
- [0039] 도 8은 상기 검사장치(A)를 사용하기 곤란한 현장여건이나 또는 외부차장벽돌벽에 이미 벽돌 한 장이 제거되어 있는 공간이 있는 경우에 로드셀부(300)의 로드셀 지지판(320)을 제거하고 원편부(400)가 적용된 검사장치(A)를 이용하여 줄눈모르타르의 접착강도를 검사하는 방법을 제시하는 실시 예를 나타내는 단면상태도이다.
- [0040] 이를 도 8a내지 도 8b의 현장검사 실시 예를 나타내는 단계별 공정 상세도를 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0041] 첫째로, 검사대상 벽돌(B)의 제1 수직줄은 모르타르(B-3)와 검사장치(A)가 삽입될 수 있는 벽돌 제거공간(C)을 형성하는 단계로서, 검사대상 벽돌(B)의 상부줄은 모르타르(B-1)와 하부줄은 모르타르(B-2)와의 접착강도를 검사하기 위하여, 검사대상 벽돌(B) 한편의 제1 수직줄은 모르타르(B-3)와 검사대상 벽돌(B)의 다른 편에 검사장치(A)를 삽입 설치할 수 있도록 부진동 진동공구를 이용하여 벽돌을 제거한다. 이때, 제1 수직줄은 모르타르(B-3) 제거 시 검사대상 벽돌(B)의 상부줄은 모르타르(B-1)와 하부줄은 모르타르(B-2)까지 감유물이 없도록 깨끗하게 제거하여야 하며, 검사대상 벽돌(B)의 다른 한편의 벽돌을 제거할 때도 양편의 제1, 2 수직줄은 모르타르(B-3, B-4)를 완전히 제거하여 벽돌면이 노출되도록 하여야 한다.
- [0042] 둘째로, 제거된 벽돌 공간(C)에 검사장치(A)를 삽입 설치하여 줄눈모르타르의 접착강도를 검사하는 단계로서, 로드셀 지지판(320) 대신 가력물(430)을 검사대상 벽돌면에 삽입 설치하고 로드셀(310)을 설치한 후, 검사장치(A)에 유압펌프를 이용하여 서서히 유압펌프를 가압하여 유압(P1)을 상승시켜 검사대상 벽돌(B)의 상하부 줄은 모르타르(B-1, B-2)와 이격되며 파괴하게 될 때의 인디케이터(360)에 나타난 최고하중 값을 관측한다.
- [0043] 이때, 로드셀 지지판(320) 뿐만 아니라 검사장치 본체(110)의 지지판(120)이나 로드의 가력판(220)을 제거한 검사장치를 이용할 수 있으며, 제거된 지지판(120) 대신 검사장치(A)의 밀면에 지지물(410)을 삽입 설치하고, 가력판(220) 대신 로드(210)와 로드셀(310) 사이에 로드셀 받침물(420)을 삽입 설치하여 검사한다.
- [0044] 이상 본 발명은 기존의 외부차장벽돌 벽체 뿐만 아니라 내부의 시멘트벽돌 또는 콘크리트 블록 등의 조적 구조물에도 적용할 수 있으며, 편의상 본 발명이 가 정의한 용어 등을 사용하여 설명하였으나, 본 명세서 및 청구 범위에서 사용된 용어와 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 된다. 발명자는 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본

또한, 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

부호의 설명

[0045]

A : 검사장치

100 : 본체부

200 : 코브부

300 : 코브셀부

400 : 절연부

B : 검사대상 벽돌

B-1 : 상부측면 모르타르

B-2 : 하부측면 모르타르

B-3 : 제1 수직측면 모르타르

B-4 : 제2 수직측면 모르타르

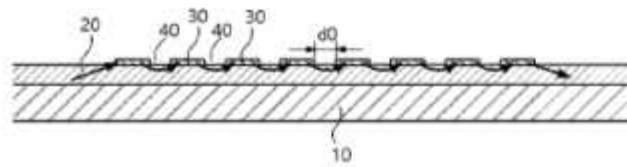
C : 벽돌 제자공간

F1 : 유압

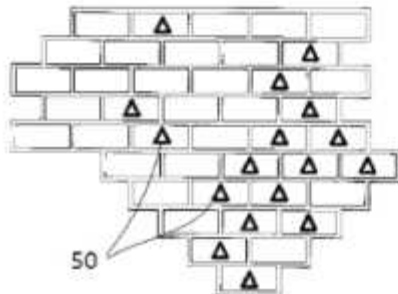
F2 : 가열하중

도면

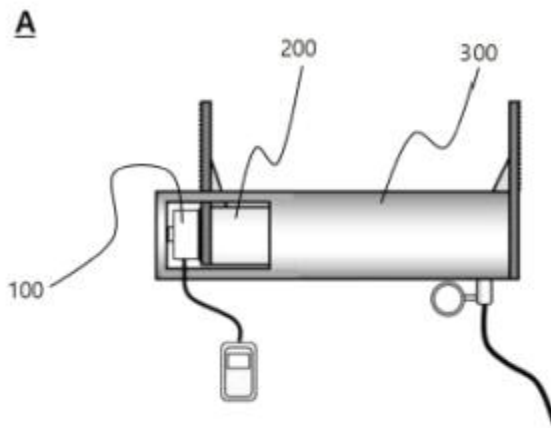
도면1



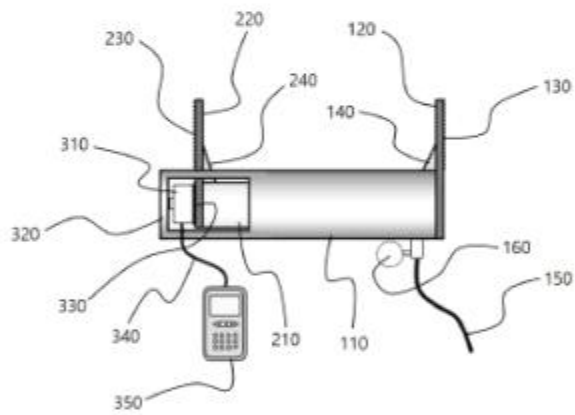
도면2



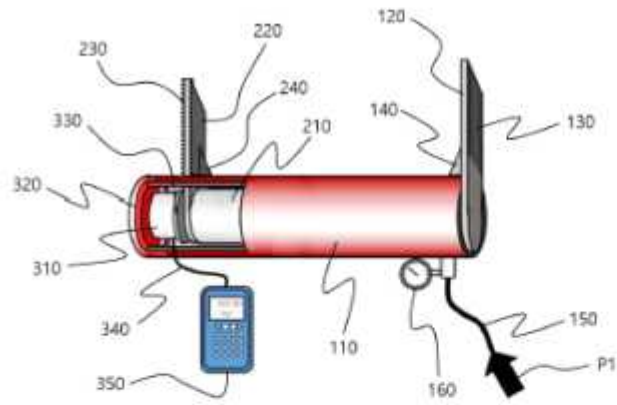
도면3



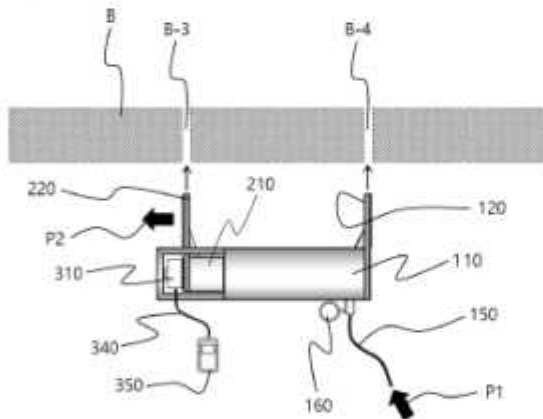
도면4



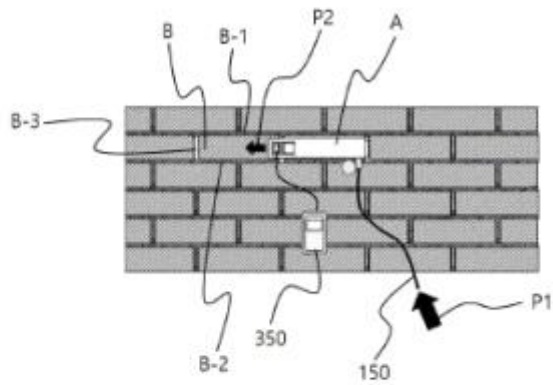
도면 6



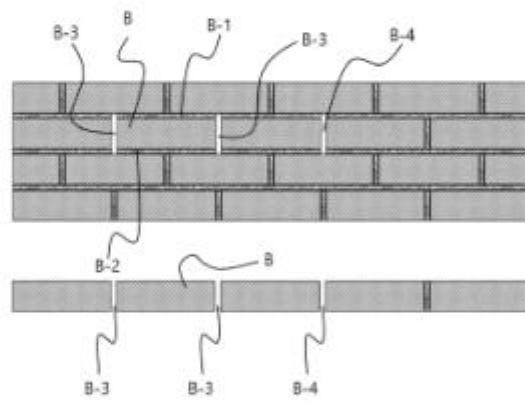
도면 6a



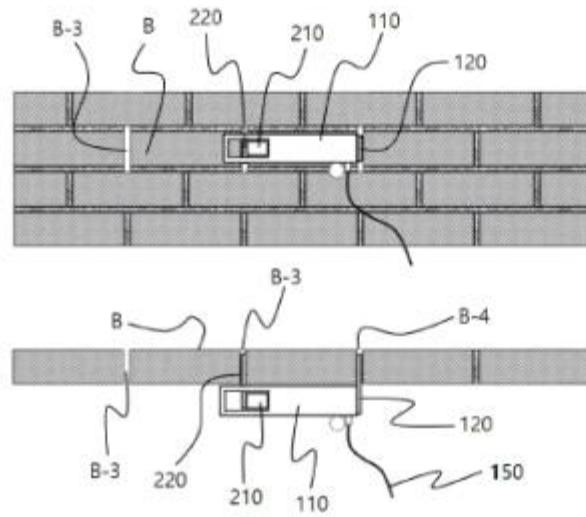
도면6b



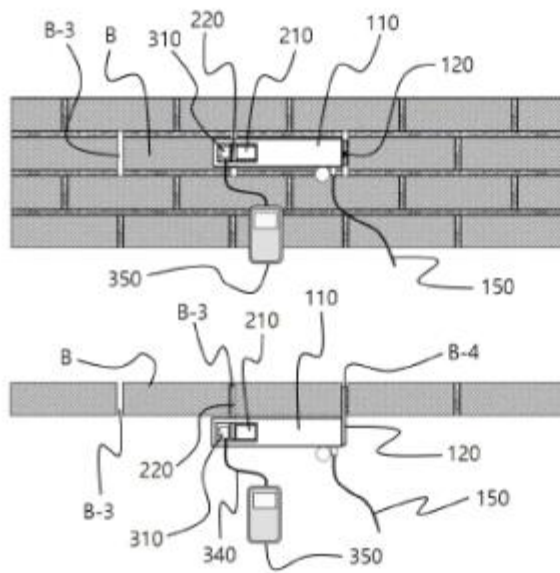
도면7a



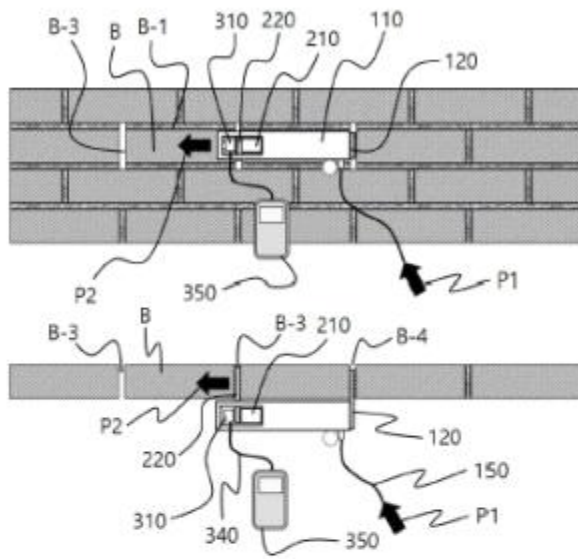
도면7b



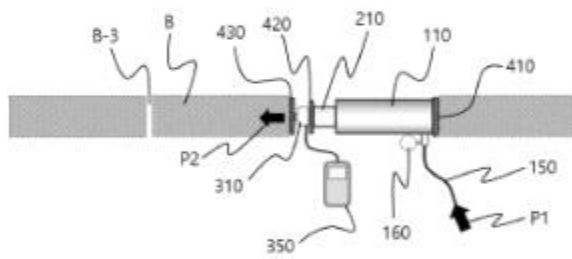
도면7c



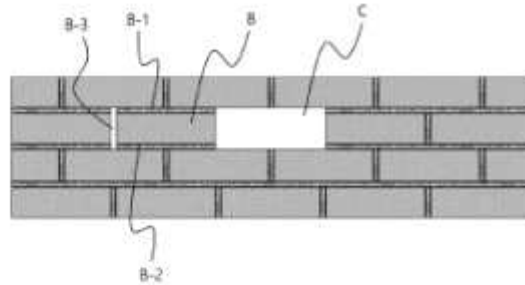
도면7d



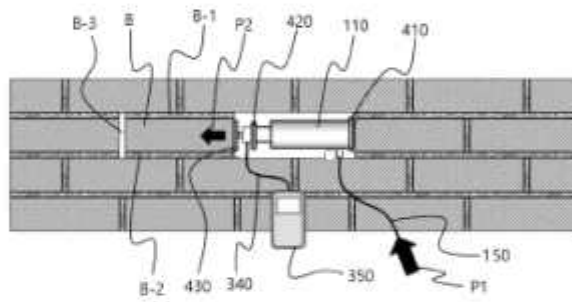
도면8



도면9a



도면9b



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정제부항목】 청구항 3

【변경권】

제 1 항에 있어서,

검사장치(A)를 이용하여 조적벽체를 구성하는 검사대상 벽돌(B)과 슬론모르타르층의 결합강도를 검사하는 검사 방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)을 기준으로 일측의 제1 수직슬론 모르타르(B-3)와 타측의 제2 수직슬론 모르타르(B-4)를 부인 동으로 제거하는 단계(S100);

제1, 2 수직슬론 모르타르(B-3, B-4)가 제거된 제거공간에 검사장치(A)의 지지관(120)과 가력관(220)을 각각 삽입하여 검사장치(A)를 설치하는 단계(S110);

로트셀부(300)가 가력하중(P2)을 검출할 수 있도록 로트셀 지지관(320)과 가력관(220) 사이에는 로트셀 케이블(340)에 의해 인디케이터(360)가 연결된 로트셀(310)을 삽입 설치하는 단계(S120);

유압필드에 의한 유압(P1)에 따라 절긴 가력하여 검사대상 벽돌(B)에 가력하중(P2)이 작용하고, 가력하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 슬론부 슬론 모르타르(B-1, B2)가 이격 파괴되는 순간의 하중을 로트셀 케이블(340)에 의해 로트셀(310)에 연결된 인디케이터(360)로 검출하는 단계(S130);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 슬론모르타르의 결합강도 검사방법.

【변경후】

제 1 항의 검사장치(A)를 이용하여 조적벽체를 구성하는 검사대상 벽돌(B)과 줄눈모르타르와의 결합강도를 검사하는 검사방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)을 기준으로 일측의 제1 수직줄눈 모르타르(B-3)와 타측의 제2 수직줄눈 모르타르(B-4)를 무인 동으로 제거하는 단계(S100);

제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)가 제거된 제거공간에 검사장치(A)의 지지판(120)과 가력판(220)을 각각 삽입하여 검사장치(A)를 설치하는 단계(S110);

로드셀부(300)가 가력하중(P2)을 검출할 수 있도록 로드셀 지지판(320)과 가력판(220) 사이에는 로드셀 케이블(340)에 의해 인디케이터(360)가 연결된 로드셀(310)을 삽입 설치하는 단계(S120);

유압실린더에 의한 유압(P1)에 따라 펼친 가력하여 검사대상 벽돌(B)에 가력하중(P2)이 작용하며, 가력하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B2)가 이격 파괴되는 순간의 하중을 로드셀 케이블(340)에 의해 로드셀(310)에 연결된 인디케이터(360)로 검출하는 단계(S130);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 결합강도 검사방법.

【도면보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6

【변경전】

제 1 항에 있어서,

검사대상 벽돌(B)과 인접한 벽돌을 제거하여 형성된 벽돌 제거공간(C)에 검사장치(A)를 삽입하여 검사대상 벽돌(B)과 조적용 줄눈모르타르의 결합강도를 검사하는 검사방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)의 좌우 양측에 구성된 제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)와, 검사대상 벽돌(B)의 일측면에 인접한 벽돌을 제거하여 벽돌 제거공간(C)을 형성하는 단계(S200);

원편부(400)가 구성된 검사장치(A)를 벽돌 제거공간(C)에 삽입 설치하는 단계(S210);

원편부(400)의 로드셀 받침원편(420)과 가력원편(430)을 삽입하고, 로드셀 받침원편(420)과 가력원편(430) 사이에 로드셀(310)을 설치하는 단계(S220);

유압실린더에 의한 유압(P1)에 따라 펼친 가력하여 검사대상 벽돌(B)에 가력하중(P2)이 작용하며, 가력하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B-2)가 이격 파괴되는 하중을 로드셀(310)의 인디케이터(360)로 검출하는 단계(S230);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 결합강도 검사방법.

【변경후】

제 3 항에 있어서,

검사대상 벽돌(B)과 인접한 벽돌을 제거하여 형성된 벽돌 제거공간(C)에 검사장치(A)를 삽입하여 검사대상 벽돌(B)과 조적용 줄눈모르타르의 결합강도를 검사하는 검사방법에 있어,

검사대상 벽돌(B)의 좌우 양측에 구성된 제1, 2 수직줄눈 모르타르(B-3, B-4)와, 검사대상 벽돌(B)의 일측면에 인접한 벽돌을 제거하여 벽돌 제거공간(C)을 형성하는 단계(S200);

원편부(400)가 구성된 검사장치(A)를 벽돌 제거공간(C)에 삽입 설치하는 단계(S210);

원편부(400)의 로드셀 받침원편(420)과 가력원편(430)을 삽입하고, 로드셀 받침원편(420)과 가력원편(430) 사이에 로드셀(310)을 설치하는 단계(S220);

유압실린더에 의한 유압(P1)에 따라 펼친 가력하여 검사대상 벽돌(B)에 가력하중(P2)이 작용하며, 가력하중(P2)에 의해 검사대상 벽돌(B)과 상하부 줄눈 모르타르(B-1, B-2)가 이격 파괴되는 하중을 로드셀(310)의 인디케이터(360)로 검출하는 단계(S230);를 포함하는 것을 특징으로 하는 조적용 줄눈모르타르의 결합강도 검사방법.

3.2 특허출원서

- [증빙 3-2.1] GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록장치

21, 11, 22, 오후 5:16	특허로
관인생략	
출원번호통지서	
출원일자	2021.11.22
특기사항	심사청구(무) 공개신청(무) 참조번호(KP211563)
출원번호	10-2021-0161523 (접수번호 1-1-2021-1345136-99) (DAS접근코드2504)
출원인명칭	(주)미래구조엔지니어링(1-2004-007686-0)
대리인성명	강귀용(9-2004-000248-3)
발명자성명	김용남 장수연 함우정
발명의명칭	GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치
특 허 청 장	
<< 안내 >>	
1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다. 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가 까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다. ※ 납부자번호 : 0131(가관코드) + 접수번호 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하 여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다. ※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도	
https://www.patent.go.kr/smart/reception/lineapp/NoOfficeAct.do	
1/2	

【서지사항】

【서류명】 특허출원서
【참조번호】 KP211563
【출원구분】 특허출원
【출원인】
【영칭】 (주)미래구조엔지니어링
【특허고객번호】 1-2004-007686-0
【대리인】
【성명】 장귀용
【대리인번호】 9-2004-000248-3
【대리인】
【성명】 김수진
【대리인번호】 9-2000-000441-7
【발명의 국문명칭】 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치
【발명의 영문명칭】 LOCATION DETERMINATION AND RECORDING DEVICE USING GNSS
【발명자】
【성명】 김용남
【성명의 영문표기】 KIM, Yong-nam
【주민등록번호】 671125-1XXXXXX
【우편번호】 13526
【주소】 경기도 성남시 분당구 동판교로 156 북들마을9단지금호어
 물힐아파트, 904동 1301호

【발명자】

【성명】 장수연

【성명의 영문표기】 JANG, Su-young

【주민등록번호】 810513-2XXXXXX

【우편번호】 14506

【주소】 경기도 부천시 상동로 196 다정환마을상동포란채아파트,
2101동 1305호

【발명자】

【성명】 함우정

【성명의 영문표기】 HAM, Woo-jeong

【주민등록번호】 921121-1XXXXXX

【우편번호】 10822

【주소】 경기도 과천시 문산읍 독산로 11 장안8차아파트, 104동
1004호

【출원언어】 국어

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1615012143

【과제번호】 158044

【부처명】 국토교통부

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통기술혁신연구(R&D)

2021-11-19

【연구과제명】 지상5층 치장조작 건물의 상태관정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발

【기여율】 1/1

【과제수행기관명】 (주)미래구조엔지니어링

【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 김귀용 (서명 또는 인)

대리인 김수진 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 원 48,000 원

【가산출원료】 14 원 0 원

【우선권주장료】 0 원 0 원

【심사청구료】 0 원 0 원

【합계】 48,000원

【감면사유】 소기업(70%감면)[1]

【감면후 수수료】 13,800 원

【첨부서류】 1.기타첨부서류[위일장]_1통

1 : 기타첨부서류

[PDF 파일 첨부](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

G/SS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치(LOCATION DETERMINATION AND RECORDING DEVICE USING G/SS)

【기술분야】

【0001】 본 발명은 G/SS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치에 관한 것으로, 건설현장에서 건축물을 대상으로 한 현장조사 진행시, 건축물의 사진 촬영을 통한 사진데이터를 획득하는 동시에 위도, 경도 및 고도에 따른 위치값을 확보하는 것이 가능하며, 나아가 위치값의 오차범위를 최소화하여 정확한 위치값을 확보하기 위한 G/SS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 건설현장과 같은 현장에서는 현장조사를 진행하는 방법으로는 각각의 현장을 사진촬영하여 사진 데이터를 생성하고, 사진 데이터를 도면이나 다른 문서와 대칭하게 된다.

【0003】 이때 사진 데이터와 도면 또는 문서를 대칭하는 과정에서 많은 시간이 소요되며, 대칭시켜야 하는 데이터가 증가할수록 데이터간의 일체성이 떨어지는 확률이 증가하게 되는 문제점이 있다.

【0004】 즉, 현장조사를 위하여 수집되는 사진 데이터는 도면이나 각종 문서와 대칭하여 정리하게 되는데, 이때 데이터의 양이 증가할수록 오차발생이 증가하

게 되고, 매칭 작업에 따른 작업시간이 요구되는 문제점이 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0005】 (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-1744958호 (2017.08.01.)

(특허문헌 0002) 등록특허공보 제10-1766477호 (2017.08.02.)

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0006】 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 참안된 것으로서, 더욱 상세하게는 GNSS 장치가 부착된 촬영기기를 이용하여 사진을 촬영하게 되면 촬영 위치에 대한 GNSS 데이터를 자동으로 확보함과 동시에 데이터의 오차값을 보정하여, GNSS 데이터가 포함된 사진 데이터를 모델링 파일과 연동시켜 원격 구조물에 대한 문제점을 신속하게 파악하여 조치하는 것이 가능한 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치에 관한 것이다.

【과제의 해결 수단】

【0007】 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 주변환경을 촬영하여 사진 데이터(110) 및 시간 데이터(120)를 생성하는 촬영장치(100); 촬영장치(100)에 연결되어 사진 데이터(110) 생성시 위치 데이터(210)를 동시에 생성하는 GNSS 안테나부(200); GNSS 안테나부(200)에 연결되어 위치 데이터(210)의 오차값을 보정하는

GNSS 수신기(300): 및 촬영장치(100), GNSS 안테나부(200) 및 GNSS 수신기(300)에 의해 생성된 데이터를 수신 받아 기 저장된 모델링 데이터(410)와 대칭시키는 단말장치(400):를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0008】 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 위치 데이터(210)는 사진 데이터(110)가 생성된 위치에 대한 위도, 경도 및 고도 정보를 포함하는 것을 특징으로 한다.

【0009】 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 GNSS 수신기(300)는 사진 데이터(110)가 생성되는 위치에 대해 실시간으로 위성의 위치 보정값(310)을 기록하며, 사진 데이터(110), 시간 데이터(120) 및 위치 데이터(210)에 위치 보정값(310)을 적용하여 위치값을 보정하는 것을 특징으로 한다.

【0010】 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 상기 단말장치(400)는 기 저장된 모델링 데이터(410)에 사진 데이터(110), 시간 데이터(120), 위치 데이터(210) 및 위치 보정값(310)을 적용하지, 기 저장된 모델링 데이터(410)의 좌표값(411)과 위치 보정값(310)에 의해 보정된 데이터(311)가 대칭되며, 좌표값(411)과 보정된 데이터(311)가 동일한 값을 경우에는 대칭 데이터(420)를 생성하는 것을 특징으로 한다.

【0011】 한편 본 명세서에 개시된 기술에 관한 설명은 단지 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기

술적 사상을 실현할 수 있는 구성물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 개시된 기술에서 개시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리 범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

【0012】 또한 본 발명에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. “제1”, “제2” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소로 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

【0013】 나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “연결되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 “~사이에”와 “~사이” 또는 “~에 이웃하는”과 “~에 직접 이웃하는” 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

【0014】 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요

소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

【발명의 효과】

【0015】 본 발명은 건설현장에서 현장조사를 위한 사진을 촬영하면 사진데이터와 함께 촬영장소에 대한 위도, 경도 및 고도를 가지는 위치 데이터를 동시에 확보하며, 이를 모델링 데이터에 적용하여 장소에 상관없이 건설현장의 문제점을 신속히 파악하여 조치하는 것이 가능한 장점이 있다.

【0016】 또한 사진 촬영 시 획득되는 위치 데이터의 오차값을 보정하여 정확한 위치정보의 획득이 가능한 장점이 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0017】 도 1은 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 전체 구성을 나타내는 도면

도 2는 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 GISS 안테나부를 나타내는 도면

도 3은 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 GISS 수신기를 나타내는 도면

도 4는 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 사용상태를 나타내는 도면

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0018】 이하, 본 발명이 속하는 선택적인 실시예를 참고로 하여 더욱 상세하게 설명한다.

【0019】 도 1은 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 전체 구성을 나타내는 도면이고, 도 2와 도 3은 각각 GISS 안테나부(200)와 GISS 수신기(300)를 나타내는 도면이며, 도 4는 본 발명에 따른 GISS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치의 사용상태를 나타내는 도면이다.

【0020】 먼저 본 발명은 촬영장치(100), GISS 안테나부(200) 및 GISS 수신기(300)를 기본적인 구성요소로 하며, 단말장치(400)를 더 포함한다.

【0021】 촬영장치(100)는 주변환경, 즉 건설현장의 모습을 촬영하기 위한 것으로 휴대폰, 카메라 등 사진으로 촬영이 가능한 모든 장치를 의미한다.

【0022】 촬영장치(100)는 주변환경에 대한 사진 데이터(110)를 생성함과 동시에 사진 데이터(110)가 생성된 시간의 시간 데이터(120)를 생성한다.

【0023】 GISS 안테나부(200)는 촬영장치(100)와 연결되며, 촬영장치(100)가 사진 데이터(110)를 생성하게 되면 사진 데이터(110)가 생성된 위치에 대한 위치 데이터(210)를 동시에 생성하게 된다.

【0024】 이때 위치 데이터(210)는 사진 데이터(110)가 생성된 위치에 대한 위도, 경도 및 고도 정보를 포함한다.

【0025】 GISS 수신기(300)는 촬영장치(100)에 연결되며, GISS 안테나부(200)가 생성한 위치 데이터(210)의 오차값을 보정하여 정확한 위치의 위치값을 생성

한다.

【0026】 GPS 수신기(300)는 사진 데이터(110)가 생성된 위치에 대해 위성으로부터 실시간으로 위치 보정값(310)을 획득하게 되며, 사진 데이터(110), 시간 데이터(120) 및 위치 데이터(210)에 위치 보정값(310)을 적용하여 위치값을 보정하게 되어 보정된 데이터(311)를 생성하게 된다.

【0027】 다음으로 단말장치(400)는 촬영장치(100), GPS 안테나부(200) 및 GPS 수신기(300)에 의해 생성된 각종 데이터를 유선 또는 무선으로 수신받으며, 수신받은 데이터는 단말장치(400)에 기 저장된 모델링 데이터(410)와 대칭하게 된다.

【0028】 이때 단말장치(400)는 PC, 스마트폰, 태블릿 PC 등 입출력이 가능한 모든 장치를 포함하며, 모델링 데이터(410)는 2D 또는 3D 등 다양한 형태의 모델 데이터를 포함한다.

【0029】 단말장치(400)는 기 저장된 모델링 데이터(410)에 사진 데이터(110), 시간 데이터(120), 위치 데이터(210) 및 위치 보정값(310)을 적용하게 되는데, 이때 모델링 데이터(410)에 기 저장된 위치정보에 대한 좌표값(411)과 위치 보정값(310)에 의해 보정된 사진 데이터(110), 시간 데이터(120), 위치 데이터(210)의 보정 데이터(311)가 동일한 값일 경우에는 대칭 데이터(420)를 생성하게 된다.

【0030】 단말장치(400)로부터 생성된 대칭 데이터(420)는 작업 관리자에게 제공되어 작업현장으로 직접 나가지 않고도 손쉽게 현장의 상황을 파악하는 것이

가능하며, 패칭 데이터(410)에 의해 문제가 발생한 지점의 정확한 좌락이 가능하여 이를 신속하게 조치할 수 있는 장점이 있다.

【0031】상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

【부호의 설명】

【0032】 100: 촬영장치 200: GNSS 안테나부
300: GNSS 수신기 400: 단말장치

【청구범위】

【청구항 1】

주변환경을 촬영하여 사진 데이터(110) 및 시간 데이터(120)를 생성하는 촬영장치(100);

촬영장치(100)에 연결되어 사진 데이터(110) 생성시 위치 데이터(210)를 동시에 생성하는 GNSS 안테나부(200);

GNSS 안테나부(200)에 연결되어 위치 데이터(210)의 오차값을 보정하는 GNSS 수신기(300); 및

촬영장치(100), GNSS 안테나부(200) 및 GNSS 수신기(300)에 의해 생성된 데이터를 수신 받아 기 저장된 모델링 데이터(410)와 대칭시키는 단말장치(400);를 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 위치 데이터(210)는

사진 데이터(110)가 생성된 위치에 대한 위도, 경도 및 고도 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 GNSS 수신기(300)는

사진 데이터(110)가 생성되는 위치에 대해 실시간으로 위성의 위치 보정값(310)을 획득하며,

사진 데이터(110), 시간 데이터(120) 및 위치 데이터(210)에 위치 보정값(310)을 적용하여 위치값을 보정하는 것을 특징으로 하는 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 판단장치(400)는

기 저장된 모델링 데이터(410)에 사진 데이터(110), 시간 데이터(120), 위치 데이터(210) 및 위치 보정값(310)을 적용하되,

기 저장된 모델링 데이터(410)의 좌표값(411)과 위치 보정값(310)에 의해 보정된 데이터(311)가 매칭되며, 좌표값(411)과 보정된 데이터(311)가 동일한 값을 경우에는 대칭 데이터(420)를 생성하는 것을 특징으로 하는 GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록 장치.

【요약서】

【요약】

본 발명은 건설현장에서 현장조사를 위한 사진을 촬영하면 사진데이터와 함께 촬영장소에 대한 위도, 경도 및 고도를 가지는 위치 데이터를 동시에 확보하며, 이를 모델링 데이터에 적용하여 장소에 상관없이 건설현장의 문제점을 신속히 파악하여 조치하는 것이 가능한 장점이 있다.

또한 사진 촬영 시 획득되는 위치 데이터의 오차값을 보정하여 정확한 위치 정보의 획득이 가능한 장점이 있다.

【대표도】

도 1

【도면】

【도 1】



【도 2】



【도 3】

300



【도 4】



- [증빙 3-2.2] 기존 조적조 구조물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법

21, 10, 18, 오후 4:34

특허로
관인생략
출원번호통지서
출원일자 2021.10.18
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(KP211611)
출원번호 10-2021-0138503 (접수번호 1-1-2021-1190265-89)
(DAS접근코드6ABF)
출원인명칭 피에스엔지니어링(주)(1-2000-054990-3)
대리인성명 강귀용(9-2004-000248-3)
발명자성명 김선우 김양중
발명의명칭 기존 조적조 구조물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법

특허청장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(가관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

<https://www.patent.go.kr/smart/in/receipt/online/app/NoOfcAct.do>
1/2

【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【참조번호】	KP211611
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	피에스엔지니어링(주)
【특허고객번호】	1-2000-054990-3
【대리인】	
【성명】	강귀용
【대리인번호】	9-2004-000248-3
【대리인】	
【성명】	김수진
【대리인번호】	9-2000-000441-7
【발명의 국문명칭】	기존 조적조 구조물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법
【발명의 영문명칭】	The Triangle tube for truss type seismic reinforcement of existing masonry wall and seismic reinforcement method using the same
【발명자】	
【성명】	김선우
【특허고객번호】	4-2017-047252-4
【발명자】	
【성명】	김양중

【특허고객번호】 4-1995-071531-0
【출원언어】 국어
【실사청구】 청구
【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】
【과제고유번호】 1615012143
【과제번호】 158044
【부처명】 국토교통부
【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원
【연구사업명】 국토교통기술혁신연구(R&D)
【연구과제명】 지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발
【기여율】 1/1
【과제수행기관명】 (주)미래구조엔지니어링
【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31
【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

 대리인 강귀용 (서명 또는 인)
 대리인 김수진 (서명 또는 인)
【수수료】
【출원료】 0 면 46,000 원
【가산출원료】 38 면 0 원
【우선권주장료】 0 건 0 원
【실사청구료】 4 항 319,000 원

【합계】	365,000원
【감면사유】	소기업(70%감면)[1]
【감면후 수수료】	109,500 원
【첨부서류】	1.기타첨부서류[위일장]_1통

1 : 기타첨부서류

[PDF 파일 정보](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

기존 조적조 구조물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법<The Triangle tube for truss type seismic reinforcement of existing masonry wall and seismic reinforcement method using the same>

【기술분야】

【0001】 본 발명은 기존의 공간쌓기 조적조 구조물의 트러스형 구조적 보강 및 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 공간쌓기 조적조 구조물의 치장 적벽돌 벽체와 같은 외부조적벽체와 내부 바탕벽체를 트라이앵글관을 이용하여 나선보강관을 트러스개념으로 결속시켜 보강시키는 것이 가능한 기존 조적조 구조물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법에 관한 것이다.

【배경기술】

【0002】 전 세계적인 대규모의 지진발생이 빈번해지며 수많은 재산과 인명피해가 증가되는 추세이다. 국내에서도 2016년 9월 규모 5.5의 경주지진과 2017년 11월 규모 5.5의 포항지진이 발생하는 등 지진발생빈도가 날로 증가되고 있으며 지르티 기동의 파손과 함께 조적조 건축물에 막대한 피해를 초래하고 있다. 특히 2019년 5월 부산대학교 미술관의 외부치장 적벽돌벽 붕괴사고로 인한 인명피해는 지진이 없는 평상시에도 비구조체에 대한 노후 치장벽돌이 붕괴할 수 있다는 위험인식

이 고쳐지고 있다.

【0003】일련의 국내 지진으로 내진설계 규정이 강화되면서 신축건물의 외부 치장 적벽돌벽에 대한 내진설계기준은 KDS 41.34등에 정립되어 있으나, 노후 기존 건축물의 외부치장 적벽돌벽의 경우 내진보강 설계 및 시공기준이 없어서 임의로 보강설계와 시공이 이루어지고 있는 실정이다.

【0004】현재 적용되고 있는 외부 치장벽돌의 보강공법은 외부 벽체와 내부 벽체를 일체화하기 위하여 나선형 보강핀이나 앵카핀을 일정간격으로 설치하거나 또는 이러한 보강핀과 결합된 수평보강재를 적용하고 있다.

【0005】그러나 이러한 기존 방법들의 보강핀 또는 앵카핀은 외부 및 내부벽체와 직교방향으로 정착되어 지진발생 시 수평으로 작용하는 지진동에 취약한 수밖에 없는 단점이 있다.

【0006】선행기술들을 일례로 살펴본다면, 도 1에 도시된 바와 같은 국내 실용신안 20-0291470호의 '나사형 보강핀에 의한 벽체 보강구조'는 공간쌓기 외부 조적벽체에서 내부 벽체까지 전공 후 나선형 보강핀을 회전 삽입하여 내외부 벽체를 묶어 일체화 시킴으로서 조적벽을 보강시키는 공법이며, 도 2에 도시된 바와 같은 국내 특허 10-2246705.(2021. 04. 28)호의 '외장 조적벽체 보강용 스크류 보강핀 및 이를 이용한 보강구조'는 공간쌓기 외부 조적벽체에서 내부 벽체까지 전공 후 앵카핀을 설치함으로써 내외부 벽체를 묶어 일체화 시켜 보강시키는 공법이지만 모두 내외부 벽체와 직교방향으로 정착되어 지진동과 같은 횡력에는 취약한 단점이 있다.

【0007】 도 3에 도시된 국내 실용신안 20-0419852, (2006. 06. 20)호의 '조적 벽체 보강에 사용되는 픽스홀더'와, 도 4에 도시된 국내 특허 10-0623551, (2006. 09. 06)호의 '조적용 벽돌과 브라켓을 이용한 내진설계용 조적구조' 및 도 5에 도시된 국내 특허 10-1681139, (2016. 11. 24)호의 '건물 외부벽체의 보강 또는 보수용 브라켓 및 이를 이용한 건물 외부 벽체의 보강 또는 보수공법'들은 내외부 벽체를 연결하는 보강재에 수평보강재를 함께 도입하여 보강력을 증진시키고 있으나, 이 또한 내 외부 벽체의 연결 보강재가 벽체에 직교방향으로 설치되어 지진동의 횡력에 취약할 수 밖에 없는 단점이 있다.

【0008】 심지어 도 6에 도시된 미국 특허 US 2004/0237440 A1, (Dec. 2, 2004)호의 'Wall Reinforcement System'에서도 도 3에 도시된 국내 실용신안 20-0419852, (2006. 06. 20)호의 '조적벽체 보강에 사용되는 픽스홀더'와 흡사한 방법으로서 여전히 지진동의 횡력에 취약한 단점이 있다.

【0009】 이러한 단점을 보완하기 위하여 개발된 방법으로서 도 7에 도시된 바와 같은 국내 특허 10-2265862, (2021. 06. 10)호의 '그리드 보강재 및 슛크리트를 이용하여 치장벽돌을 보강한 외벽구조체 및 그 보강방법'은 내부벽체와 외부 치장벽돌 벽체를 직교방향으로 연결리스를 설치하여 일체화하고, 치장벽돌 외부에 그리드 보강재를 설치 후 그 위에 슛크리트로 마감함으로써 지진동의 횡력에 견딜 수는 있지만, 치장벽돌 외부 벽면에 슛크리트 마감으로 인하여 치장벽돌의 고유 미관을 완전히 상실하는 단점이 있다.

2021-10-18

【0010】본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 내 외부 벽체를 결속시켜 보강하는 보강재에 트러스 구조 원리를 도입함으로써 치장 적벽돌의 고유 미를 살리면서 지진동의 횡력에도 견디는 트라이앵글관 및 이를 이용한 내진보강 방법에 관한 것이다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0011】(특허문헌 0001) (0001) 실용신안등록공보 제20-0291470호
(2002.09.26.)

(특허문헌 0002) (0002) 특허등록공보 제10-2246708호 (2021. 04. 26)

(특허문헌 0003) (0003) 실용신안등록공보 제20-0419852호 (2006. 06. 20)

(특허문헌 0004) (0004) 특허등록공보 제10-0623581호 (2006. 09. 06)

(특허문헌 0005) (0005) 특허등록공보 제10-1681139호 (2016. 11. 24)

(특허문헌 0006) (0006) 미국등록특허 2004/0237440 (2004. 12. 02.)

(특허문헌 0007) (0007) 특허등록공보 제10-2265882호 (2021. 06. 10)

【발명의 내용】

【해결하려는 과제】

【0012】본 발명에 따른 외부치장 적벽돌 조적조 구조물은 시멘트모르타르 결합재에 의해 각 벽돌 개체들의 축조방식으로 이루어지며, 축조 시에 내부벽체와

결속시키는 보강철물(연결철물 또는 Wall Tie)들을 함께 사용하게 된다. 그러나 시간의 경과에 따라 보강철물의 부식으로 내부벽체와의 결속력이 상실하게 되는 문제점이 있다. 이러한 기존의 외부치장 적벽들 구조물에 대하여 현존하는 대부분의 보강공법은 내 외부벽체에 직교방향으로 보강편이나 앵카편 또는 보강철물을 설치하여 보강시키는 방법이 적용되고 있으나 직교방향의 보강재는 지진 발생시 횡력으로 작용하는 지진동에 매우 취약한 문제점이 있다.

【0013】 본 발명은 기존 건축물의 외부 치장적벽들 벽체에 작용하는 지진동과 같은 횡력에 적극적으로 대응할 수 있도록 트라이앵글판을 이용하여 트러스 구조방식으로 나선 보강편을 설치하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

【과제의 해결 수단】

【0014】 본 발명은 기존 건축물의 외부치장 적벽들 벽체가 지진동의 횡력에도 적극적으로 대응하여 내진능력을 증가시킬 수 있는 기존 조적조 구물의 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글판 및 이를 이용한 내진보강 방법에 있어서,

【0015】 공간쌓기 내외벽에 직교방향이 아닌 경사방향으로 나선 보강편이 설치되어 정착될 수 있도록 유도하는 트라이앵글판의 좌경사판과 우경사판 두 개의 철재판이 45°로 이루어져 두 개의 철재판이 삼각형의 연결판에 용접 이음되어 형성되는 트러스형 트라이앵글판과, 트라이앵글판이 외부 치장적벽들 벽체 외면에 삽입 설치될 수 있도록 적벽들벽 외면을 파내는 홈파기 단계와, 적벽들 벽체 외면에 파낸 홈에 트라이앵글판을 삽입 설치하는 단계와, 트라이앵글판의 좌경사판과 우경

사관을 통해서 램어드릴링에 의해 천공하는 단계와, 천공된 구멍 속으로 트라이앵글관의 좌경사관과 우경사관을 통하여 나선 보강편을 회전 삽입시키는 단계와, 트라이앵글관의 주변 공간과 좌경사관 및 우경사관 속에 에폭시 수지 충전재를 충전하여 정착시키는 단계로 이루어진 것에 특징이 있다.

【발명의 효과】

【0016】 본 발명은 기존의 노후된 외부치장 적벽돌 벽체에 내진보강용으로 많이 사용되는 나선보강편 등의 보강재를 트라이앵글관을 이용하여 벽체와 직교방향이 아닌 경사방향으로 설치하고 트라이앵글관에 에폭시수지로 충전시켜 양 경사방향의 나선 보강편 결합부가 양 경사방향 보강편의 절점부가 되도록 함으로서 설치된 나선 보강편이 트러스구조를 이루도록 하여 지진동의 횡력에 적극적으로 대응할 수 있는 내진능력을 향상시키는 효과가 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0017】 도 1은 기존의 선행기술인 국내 실용신안 20-0291470, (2002. 09. 26.)호의 나선형 보강편에 의한 벽체 보강구조 개요도

도 2는 기존의 선행기술인 국내 특허 10-2248708, (2021. 04. 26)호의 외장조적벽체 보강용 스크류 보강편 및 이를 이용한 보강구조 개요도

도 3은 기존의 선행기술인 국내 실용신안 20-0419852, (2006. 08. 20)호의 조적벽체 보강에 사용되는 픽스홀더 개요도

도 4는 기존의 선행기술인 국내 특허 10-0623581, (2006. 09. 06)호의 조적용

벽돌과 브라켓을 이용한 내진설계용 조적구조 개요도

도 5는 기존의 선행기술인 국내 특허 10-1681139, (2016. 11. 24)호의 건물 외부벽체의 보강 또는 보수용 브라켓 및 이를 이용한 건물 외부 벽체의 보강 또는 보수공법 개요도

도 6은 기존의 선행기술인 미국 특허 US 2004/0237440 A1, (Dec. 2, 2004)호의 Wall Reinforcement System 개요도

도 7은 기존의 선행기술인 국내 특허 10-2265882, (2021. 06. 10)호의 그리드 보강재 및 슛크리트를 이용하여 치장벽돌을 보강한 외벽구조체 및 그 보강방법 개요도

도 8은 공간쌓기 조적벽체에 직교방향으로 설치된 보강편의 구조적 거동 개요도

도 9는 공간쌓기 조적벽체에 직교방향으로 설치된 보강편에 의해 구조물에 끼치는 손상도

도 10은 트라이앵글관의 사시도 및 정면도와 측면도

도 11은 나선보강바 결용 트라이앵글관의 사시도 및 정면도와 측면도

도 12는 트라이앵글관을 이용한 실시 예의 사시도 및 측면도

도 13은 나선보강바 결용 트라이앵글관을 이용한 실시 예의 사시도 및 측면도

도 14는 트라이앵글관을 이용한 치장 적벽돌 벽체의 보강 실시 예

도 15는 트라이앵글핀을 이용하여 보강된 치장 적벽돌 벽체의 각용하중에 대한 응력도

도 16a 내지 도 16e는 트라이앵글핀을 이용한 치장 적벽돌 벽체의 보강 실시 예의 공정 순서도

도 17a 내지 도 17f는 나선보강바 겸용 트라이앵글핀을 이용한 치장 적벽돌 벽체의 보강 실시 예의 공정 순서도

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0018】조적조 건축물의 구조적 특성은 시멘트 모르타르 결합체에 의해 벽돌 하나하나를 각기 개체로 쌓아올려서 형성된 벽체이므로 수직하중에는 견딜 수 있으나, 지진동과 같은 수평하중에는 벽돌 각기 개체별로 거동하여 구조적으로 매우 취약한 특성이 있다.

【0019】특히, 내부의 시멘트벽돌벽 또는 콘크리트 벽체에 단열재를 붙이고 외부에 치장목적으로 쌓는 공간쌓기의 외부치장 적벽돌 벽체인 경우 신축당시 내부 벽체와 결속시킨 보강철물(연결철물 또는 wall tie)이 시간 경과에 따른 부식으로 성능이 저하되어 미미한 수평하중에도 견디지 못하고 탁탁 또는 붕괴 등의 사고 사례가 빈번한 실정이다.

【0020】이러한 경우 기존의 외부치장 적벽돌 벽체에 대한 보강목적으로 많은 기술들이 개발되어 있으나 치장 적벽돌 외부에서 내부벽체까지 벽면에 직교방향으로 천공 후 나선 보강핀 또는 앵카핀 등의 보강재를 천공 구멍 속에 삽입시켜 내

외부 벽체를 결속시키는 방법이 가장 일반적으로 적용되고 있으나, 나선 보강편 또는 앵카편은 압축력과 인장력에 큰 구조적 성능을 지니는 반면 전단력에는 매우 취약한 구조적 특성이 있다.

【0021】 도 1 내지 도 6의 선행기술과 같이 치장 적벽돌 벽체(20)면에서 직교방향으로 내·외부 벽체를 결속시키는 나선 보강편(30)이나 앵카편(40) 또는 보강철물(50)은 치장 적벽돌 벽체(20)면과 직교방향으로 작용하는 수평하중(120)에는 견딜 수 있으나, 치장 적벽돌 벽체(20)면과 동일 방향으로 작용하는 수평하중(130)에는 전단력에 대한 취약성으로 나선 보강편(30)이나 앵카편(40) 또는 보강철물(50)이 견디지 못하고 휘어지게 되어 보강능력을 상실하게 된다.

【0022】 이러한 구조적 문제점에 대하여, 도 8의 도시를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

【0023】 도 8 (a)는 치장 적벽돌 벽체(20)면에서 직교방향으로 나선 보강편(30)이 설치된 경우 치장 적벽돌 벽체(20)면 직교방향의 수평하중(120)이 작용할 때의 나선보강편(30)이 견디는 모습을 보여주는 반면, 도 8 (b)는 치장 적벽돌 벽체(20)면과 동일방향의 수평하중(130)이 작용할 때 나선 보강편(30)의 전단용력이 부족하여 나선 보강편(30)이 휘어지는 모습을 보여준다.

【0024】 이와 같은 현상이 실제 건축물에서 발생할 경우 건축물에 나타나는 손상의 형상을 도 9에서 보여주고 있다.

【0025】도 9 (a)는 건축물에서 장변방향의 수평하중(140)이 작용하는 경우 단변방향의 나선 보강편(160)은 압축 및 인장응력만 받게 되므로 충분히 견디는 반면, 장변방향의 나선 보강편(170)은 전단응력이 부족하여 모두 휘어지는 현상이 발생하며, 장변방향의 치장벽돌 벽체(20)와 단변방향의 치장벽돌 벽체(20) 모서리 벽체에 균열이 발생하는 손상이 생긴다. 반면 도 9 (b)는 단변방향의 수평하중(150)이 작용하는 경우 장변방향의 나선 보강편(170)은 압축 및 인장응력만 받게 되므로 충분히 견디는 반면, 단변방향의 보강편(160)은 전단응력이 부족하여 모두 휘어지는 현상으로 인하여 단변방향의 치장 벽돌 벽체(20)와 장변방향의 치장벽돌 벽체(20) 모서리에 균열이 발생하는 손상이 생긴다.

【0026】이러한 현상은 나선 보강편(30)이나 도2의 앵카편(40) 및 도 7의 연결피스(60) 뿐만 아니라 도 4의 도시와 같은 벽체면에서 직교방향으로 설치된 보강 철물(50)에서도 동일한 손상이 발생된다.

【0027】도 7은 상기의 균열손상 발생을 방지하기 위하여 치장 적벽돌벽(20)면에 직교방향으로 연결피스(60)를 설치하고 치장 적벽돌 벽체(20)의 외부 면에 메탈라스등의 그리드(100) 보강재를 설치하고 스크리트 미강(110) 마감하도록 보강안을 제시하였으나 이러한 공법은 치장 적벽돌벽(20) 고유의 미관을 보존치 못하는 단점이 있다.

【0028】본 발명은 기존 건축물에서 공간쌓기의 외부치장 적벽돌 벽체(20)가 지진 발생 시 지진동의 수평하중에 능동적으로 대처할 수 있도록 트라이앵글관(180)을 이용하여 나선 보강편(30)을 치장 적벽돌 벽체(20)면에 직교방향이 아닌

과우 경사방향으로 결속시켜 트러스화 함으로서 전단용력을 극대화시키는 방법에 관한 것으로서 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

【0029】 도 10 (a)는 트라이앵글관(180)의 사시도이며, 도 10 (b)는 트라이앵글관 정면도에 도시된 바와 같이 철재관 내경 10~12mm의 좌경사관(190)과 우경사관(200)이 90° 각도로 배열되고 정삼각형의 연결판(210)에 의해 서로 용접 이용되어 구성된다. 이는 도 10 (c)의 트라이앵글관 측면도에서도 도시되어 이해할 수 있다.

【0030】 도 11 (a)는 나선 보강편(30)과 함께 수평줄눈 보강용의 수평 나선 보강바(80)를 사용하는 경우의 나선보강바 겸용 트라이앵글관(220)의 사시도이며, 도 11 (b)의 나선보강바 겸용 트라이앵글관(220) 정면도에 도시된 바와 같이 철재관 내경 10~12mm의 좌경사관(190)과 우경사관(200)이 90°도 각도로 배열되고 정삼각형의 연결판(210)에 의해 서로 용접 이용되어 있으며 하단부에 수평방향의 나선보강바(80)가 트라이앵글관(220)과 연결될 수 있도록 수평의 나선보강바(80)와 동일 방향으로 나선 보강바 결이쇠(230)가 용접이용되어 구성된다.

【0031】 도 12 (a)는 트라이앵글관(180)을 이용하여 좌경사관(190)과 우경사관(200)을 통하여 나선 보강편(30)을 설치하는 실시 예의 사시도이며, 도 12 (b)는 트라이앵글관(180)을 이용하여 나선보강편(30)을 설치한 실시 예의 측면도이다.

【0032】

【0033】도 13 (a)는 수평 보강바 겸용 트라이앵글관(220)을 이용하여 과경사관(190)과 우경사관(200)을 통하여 설치된 나선 보강핀(30)과 수평굴눈부에 설치된 수평보강바가 수평보강바 결이쇠에 의해 서로 결속되도록 설치하는 실시 예의 사시도이며, 도 13 (b)는 수평 보강바 겸용 트라이앵글관(220)을 이용하여 나선 보강핀(30) 및 수평 보강바(80)를 설치한 실시 예의 측면도이다.

【0034】도 14 (a)는 트라이앵글관(180)을 이용하여 내부벽체(10)와 치장적벽돌 벽체(20)를 트러스구조 형식으로 나선 보강핀(30)을 설치하여 내 외부벽체를 일체화로 결속시킨 실시 예를 보여주는 도시로서 이때, 트라이앵글관(180)의 간격은 구조계산에 의한 설계치수에 준하되 60cm~80cm간격이 바람직하다.

【0035】도 14 (b)는 수평 나선보강바 겸용 트라이앵글관(220)을 이용하여 내부벽체(10)와 치장적벽돌 벽체(20)를 트러스구조 형식으로 나선 보강핀(30)을 설치하여 내 외부벽체를 일체화로 결속시키고 동시에 치장 적벽돌 벽체(20)의 수평굴눈부에 수평 보강바(80)를 설치한 후 수평 보강바 겸용 트라이앵글관(220)의 수평 보강바 결이쇠(230)에 결속시켜 나선 보강핀(30)과 수평 나선보강바(80)를 함께 설치하여 보강하는 실시 예를 보여주는 도시이다.

【0036】도 15 (a) 내지 (b)는 본 발명의 트라이앵글관(180)을 이용하여 과경사 나선 보강핀(240)과 우경사 나선 보강핀(250)을 설치하면 트러스 구조형식으로 지진동의 수평하중(130)이 치장적벽돌 벽체(20)면과 동일방향으로 작용하였을 경우의 구조적 응력분포를 나타내는 평면도로서, 도 15 (a)는 지진동의 우방향 수평하중(260)이 작용하면 트러스 구조형식과 같이 과경사 나선 보강핀(240)은 인장

응력을 받는 반면 우경사 나선 보강편(250)은 압축응력을 받게되므로 전단력의 영향을 받지 않게 되어 충분한 보강력을 지니게 된다.

【0037】반대로, 도 12 (b)는 지진동의 과방향 수평하중(270)이 작용하면 트러스 구조형식과 같이 과경사 나선 보강편(240)은 압축응력을 받는 반면 우경사 나선 보강편(250)은 인장응력을 받게되므로 전단력의 영향을 받지 않게 되어 충분한 보강력을 지니게 된다.

【0038】도 16a 내지 도 16e는 트라이앵글판(180)을 이용한 실시 예를 나타내는 단계별 공정 상세도로서, 치장 적벽돌 벽체(20)의 외부면에 트라이앵글판(180)을 설치하기 위한 치장 적벽돌벽(20)의 홈파기(280) 단계, 홈파기(280) 공간에 트라이앵글판(180)을 삽입하는 단계, 트라이앵글판(180)의 과경사편(190)과 우경사편(200)을 통하여 내부 벽체(10)까지 햄머드릴을 이용하여 천공(290,300)하는 단계, 과경사편(190)과 우경사편(200)을 통하여 천공된 구멍으로 과경사 나선 보강편(240)과 우경사 나선보강편(250)을 회전 삽입 설치하는 단계, 트라이앵글판(180) 설치를 위한 홈파기(280)의 빈 공간과 트라이앵글판(180)의 과경사편(190)과 우경사편(200) 속으로 예복시 수지 충전재(310)를 주입 충전하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 치장적벽돌 벽체(20)의 구조보강 및 내진보강용 트라이앵글판(180) 및 이의 이를 이용한 내진보강 방법을 제공한다.

【0039】이하, 첨부된 도16a 내지 도 16e를 참조하여 전술한 기술의 바람직한 실시 예를 통하여 본 발명을 용이하게 이해하고 재현할 수 있도록 상세히 설명한다.

【0040】첫째로, 도 16a는 트라이앵글관(180)을 설치하기 위한 공간형성을 위하여 치장 적벽돌 벽체(20) 외부에 흙파기(280) 단계로서, 핸드캣타를 이용하여 치장 적벽돌 벽체(20)에 컷팅 및 취핑작업으로 흙파기(280)를 하고 잔유본진이 없도록 깨끗하게 제거하되, 흙파기(280)의 규격은 적용하고자 하는 트라이앵글관(180)의 규격보다 3mm크게 하되 벽면에서 5mm 깊이 삽입되도록 흙파기(280) 깊이를 설정한다. 이때, 흙파기(280)의 간격은 트라이앵글관(180)의 설치간격으로서 구조계산에 의한 설계횟수에 준하되 60cm~80cm간격이 바람직하다.

【0041】둘째로, 도 16b는 흙파기(280) 공간속에 트라이앵글관(180)을 설치하는 단계로서, 흙파기(280) 공간 중앙에 위치하도록 삽입 설치한다.

【0042】셋째로, 도 16c는 과경사 나선 보강핀(240) 및 우경사 나선 보강핀(250)을 설치하기 위한 천공 단계로서, 트라이앵글관의 과경사핀(190)과 우경사핀(200)을 통하여 내부 벽체(10)까지 햄머드릴을 이용하여 $\phi 6\text{mm}$ 규격으로 천공하되, 내부벽체(10)가 시멘트벽돌벽인 경우에는 에어호스를 이용하여 분진가두를 제거하여야 한다.

【0043】넷째로, 도 16d는 이미 천공 된 과경사 천공구멍(290)과 우경사 천공구멍(300)을 통하여 과경사 나선 보강핀(240)과 우경사 나선 보강핀(250)을 삽입 설치하는 단계로서, 트라이앵글관(180)의 과경사핀(190)과 우경사핀(200)을 통하여 천공된 $\phi 6\text{mm}$ 규격의 천공구멍(290, 300)속으로 햄머드릴을 이용하여 $\phi 9\text{mm}$ 규격의 나선 보강핀(240, 250)을 내부 벽체까지 회전 삽입 설치한다. 이때, 내부벽체(10)가 시멘트벽돌인 경우에는 노화도에 따른 결속력 증진을 위하여 주입호스가 장착된

구입건을 이용하여 예폭시 수지 충전재를 구입 후 나선 보강편(240, 250)을 설치하는 것이 바람직하다.

【0044】 다섯째로, 도 16e는 트라이앵글핀(180)의 빈 공간에 예폭시수지 충전재(310)를 구입 충전하는 단계로서, 트라이앵글핀 설치용 홈파기(280)의 빈공간과 트라이앵글핀의 좌경사편(190) 및 우경사편(200) 속으로 구입건을 이용하여 예폭시수지 충전재(310)를 구입 충전하여 마무리 한다. 이때, 치장 적벽돌 벽체(20) 외면에는 동일벽돌의 분말가루를 예폭시 수지에 혼합하여 기존 벽돌색상과 동일하게 하는 것이 바람직하다.

【0045】 도 17은 좌경사 나선 보강편(240) 및 우경사 나선 보강편(250)과 함께 깔는 보강용 수평 나선보강바(80)를 적용하는 실시 예를 나타내는 평면도로서, 이를 도 17a 내지 도 17f의 현장 실시 예를 나타내는 단계별 공정 상세도를 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

【0046】 첫째로, 도 17a는 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)과 수평 나선 보강바(80)를 설치하기 위한 홈파기 단계로서, 우선 외부치장 적벽돌 벽체(20)면의 수평 줄눈부를 30mm 깊이로 핸드캣타를 이용하여 나선 보강바용 홈파기(320)를 하고, 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220) 설치위치에도 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)의 규격보다 3mm크게 하되 벽면에서 5mm 깊이 삽입되도록 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀용 홈파기(330) 깊이를 설정하여 홈을 파내되 수평 나선 보강바(80)가 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220) 하부에 설치될 것을 감안하여 홈파기를 하여야 한다. 이때, 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀용 홈파기(330)의 간격은 나

선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)의 설치간격으로서 구조계산에 의한 설계치수에 준하되 60cm~80cm간격이 바람직하다.

【0047】둘째로, 도 17b는 수평 나선 보강바(80)를 설치하는 단계로서, 수평 줄눈에 수평 나선 보강바용 홈파기(320)의 홈 속에 15mm깊이로 무수축모르타르를 1차로 채운 후 수평 나선 보강바(80)를 무수축모르타르 속에 함몰되도록 끼워넣는다.

【0048】셋째로, 도 17c는 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)을 설치하는 단계로서, 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀 홈파기(330)의 홈속에 나선보강바 겸용 트라이앵글핀(220)을 삽입 설치하되 이미 설치된 수평 나선 보강바(80)가 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)의 나선 보강바 걸이쇠(230)에 밀착되어 결속되도록 설치되어야 한다.

【0049】넷째로, 도 17d는 나선 보강핀 설치를 위한 천공단계로서, 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)의 과경사핀(190) 및 우경사핀(200)을 통하여 $\Phi 6\text{mm}$ 직경으로 햄머드릴을 이용하여 내부 벽체(10)까지 천공한다.

【0050】다섯째로, 도 17e는 과경사 나선 보강핀(240) 및 우경사 나선 보강핀(250)을 설치하는 단계로서, 나선 보강바 겸용 트라이앵글핀(220)의 과경사핀(190)과 우경사핀(200)을 통하여 천공된 구멍(290, 300) 속으로 천공구멍보다 2~3mm 큰 규격의 과경사 나선 보강핀(240)과 우경사 나선 보강핀(250)을 회전 삽입시켜 내부벽체(10)까지 설치한다. 이때, 내부벽체(10)가 시멘트벽돌인 경우에는 노화도에 따른 결속력 증진을 위하여 구입호스가 장착된 구입건을 이용하여 예복시 수

지 충전재를 주입 후 좌경사 나선 보강편(240) 및 우경사 나선 보강편(250)을 설치하는 것이 바람직하다.

【0051】여섯째로, 도 17f는 수평줄눈의 나선 보강바용 홈파기(320) 및 나선 보강바 결용 트라이앵글편 홈파기(330)의 빈 공간에 충전재를 충전 마감하는 단계로서, 이미 나선 보강바용 홈파기(320) 속의 1차 무수축모르타르속에 함침되어 나선 보강바(80)가 설치된 수평줄눈의 간여 홈속에 2차 무수축모르타르를 충전하여 무수축모르타르 충전(340) 마무리하고, 나선 보강바 결용 트라이앵글편 홈파기(330)의 빈 공간과 좌경사편(190) 및 우경사편(200) 속의 빈공간에 예복시수지 충전재를 주입건을 이용하여 예복시 수지 충전(310)하고 마감한다.

【0052】이때, 치장 적벽돌 벽체(20) 외면에는 동일벽돌의 본말가두를 예복시 수지에 혼합하여 기존 벽돌색상과 동일하게 하는 것이 바람직하다.

【0053】이상 본 발명은 기존의 외부 치장 적벽돌 벽체 뿐만 아니라 시멘트 벽돌 또는 콘크리트 블록 등의 조적 구조물에도 적용할 수 있으며, 편의상 본 발명가가 정의한 용어 등을 사용하여 설명하였으나, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어와 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 된다. 발명가는 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 고안의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

【부호의 설명】

【0054】 10: 내부 벽체	20: 치장 적벽돌 벽체
30: 나선 보강편	40: 앵카편
50: 보강 철물	60: 연결피스
70: 수평 보강재	80: 나선 보강바
90: 나선 보강바 연결구	100: 그리드
110: 스틱리트 미장	120: 벽체면에 직교방향의 수평하중
130: 벽체면과 동일방향의 수평하중	140: 장변방향의 수평하중
150: 단변방향의 수평하중	160: 단변방향의 나선 보강편
170: 장변방향의 나선 보강편	180: 트라이앵글관
190: 좌경사관	200: 우경사관
210: 연결관	220: 나선 보강바 결용 트라이앵글관
230: 나선보강바 결이쇠	240: 좌경사 나선 보강편
250: 우경사 나선 보강편	260: 우방향 수평하중
270: 좌방향 수평하중	280: 트라이앵글관용 홈파기
290: 좌경사 천공구멍	300: 우경사 천공구멍
310: 예폭시수지 충전	320: 나선보강바용 홈파기
330: 나선보강바 결용 트라이앵글관 홈파기	340: 무수축모르타르 충전

【청구범위】

【청구항 1】

기존건축물의 외부치장 적벽돌 벽체가 지진동 횡력에도 능동적으로 대응할 수 있는 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글판에 관한 것으로서,

10~12mm의 내경으로 구성되는 철재관이 과경사 방향으로 배열되는 과경사판;

10~12mm의 내경으로 구성되는 철재관이 우경사 방향으로 배열되는 우경사판;

과경사판과 우경사판이 직각으로 배열되어 서로 용접이음되도록 삼각형태로 구성되는 연결판; 및

일단부가 과경사판과 우경사판에 고정설치되어 치장적벽돌 벽체의 좌우 경사 방향으로 설치되는 나선 보강핀;을 포함하는 것을 특징으로 하는 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글판.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 나선보강핀과 함께 수평결합부에 나선보강바가 함께 결속되어 설치될 수 있도록 트라이앵글판 하단부에 용접 이음되는 나선 보강바 겹이시가 형성된 나선 보강바 결합 트라이앵글판이 더 포함되는 것을 특징으로 하는 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글판.

【청구항 3】

트라이앵글판을 이용하여 기존 조적조 구조물의 내진보강 방법에 있어,

치장 적벽돌 벽체의 외부면에 트라이앵글판을 설치하기 위한 홈파기 단계;

홈파기 공간에 트라이앵글판을 삽입 설치하는 단계와, 트라이앵글판의 과경사판과 우경사판을 통하여 내부 벽체까지 천공하는 단계;

과경사판과 우경사판을 통하여 천공된 구멍으로 과경사 나선 보강핀과 우경사 나선보강핀을 회전 삽입 설치하는 단계; 및

트라이앵글판 설치를 위한 홈파기의 빈 공간과 트라이앵글판의 과경사판 및 우경사판 속으로 에폭시 수지 충전재를 주입 충전하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글판의 내진보강 방법.

【청구항 4】

제 3항에 있어서,

과우 경사방향의 나선보강핀과 함께 수평줄눈부에 나선보강바가 함께 결속되도록 보강하는 방법으로서,

나선 보강바 겸용 트라이앵글판과 수평 나선 보강바를 설치하기 위한 홈파기 단계;

수평 나선 보강바용 홈파기의 홈 속에 무수축모르타르를 1차로 채운 후 수평 나선 보강바를 무수축모르타르 속에 함침시키는 나선 보강바 설치단계;

나선 보강바 겸용 트라이앵글관 흡파기의 흡속에 나선보강바 겸용 트라이앵글관(220)을 삽입 설치하는 단계;

나선 보강바 겸용 트라이앵글관의 과경사관 및 우경사관을 통하여 내부 벽체까지 천공하는 단계;

과경사관과 우경사관을 통하여 천공된 구멍 속으로 과경사 나선 보강핀과 우경사 나선 보강핀을 내부 벽체까지 회전 삽입 설치하는 단계; 및

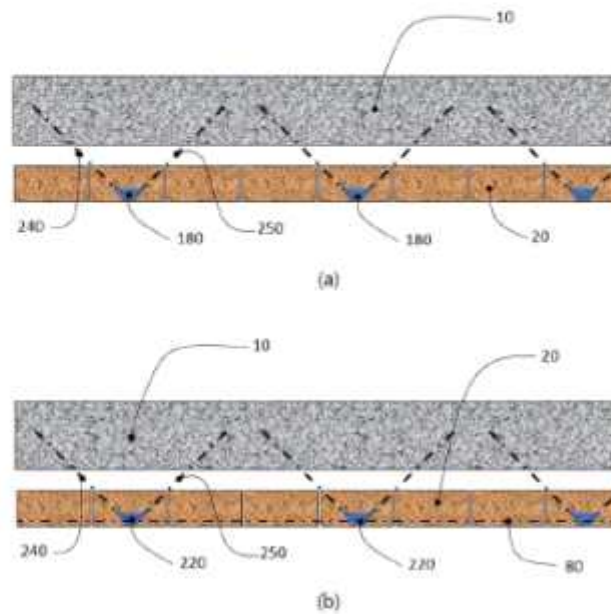
수평줄눈의 간여 흡속에 2차 무수축모르타르를 충전하여 무수축모르타르 충전 마무리하고 나선 보강바 겸용 트라이앵글관 흡파기의 빈 공간과 과경사관 및 우경사관 속의 빈공간에 에폭시수지 충전재를 충전 마감단계:를 포함하는 것을 특징으로 하는 트러스형 내진보강을 위한 트라이앵글관의 내진보강 방법.

【요약서】

【요약】

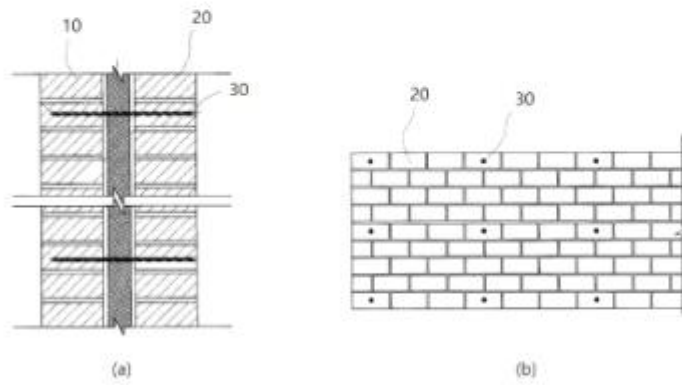
본 발명은 기존의 노후된 외부치장 적벽돌 벽체에 내진보강용으로 많이 사용되는 나선보강핀 등의 보강재를 트라이앵글핀을 이용하여 벽체와 직교방향이 아닌 경사방향으로 설치하고 트라이앵글핀에 예복시수지로 충진시켜 양 경사방향의 나선 보강핀 결합부가 양 경사방향 보강핀의 절절부가 되도록 함으로서 설치된 나선 보강핀이 트러스구조를 이루도록 하여 지진동의 횡력에 적극적으로 대응할 수 있는 내진능력을 향상시키기 위한 것을 목적으로 한다.

【대표도】

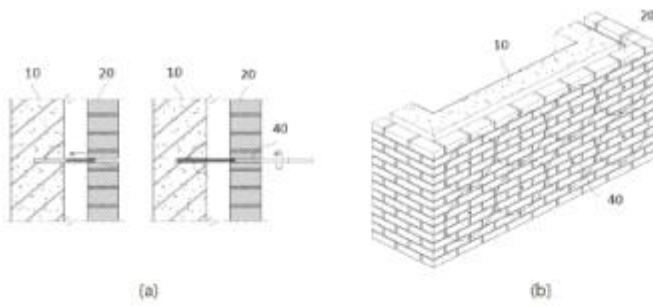


【도면】

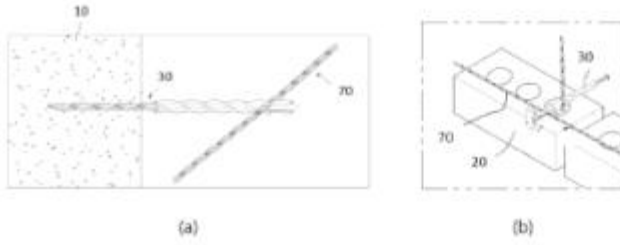
【도 1】



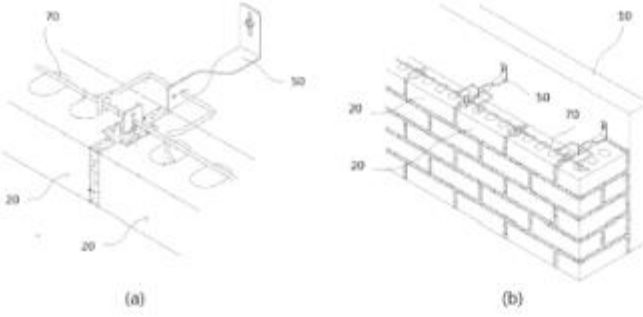
【도 2】



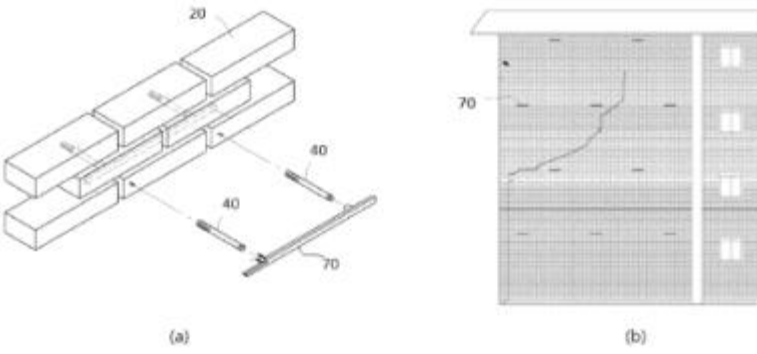
【도 3】



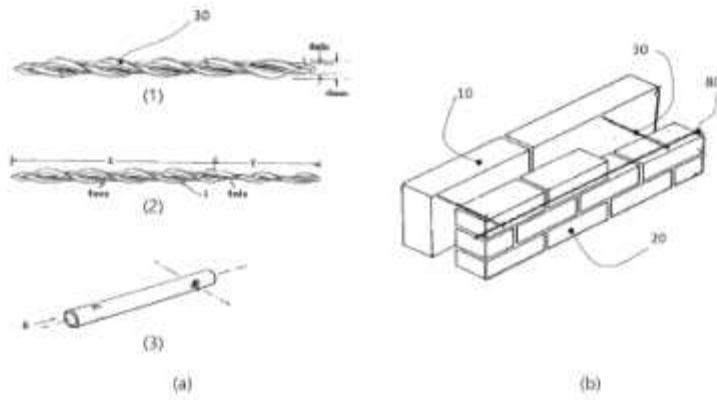
【도 4】



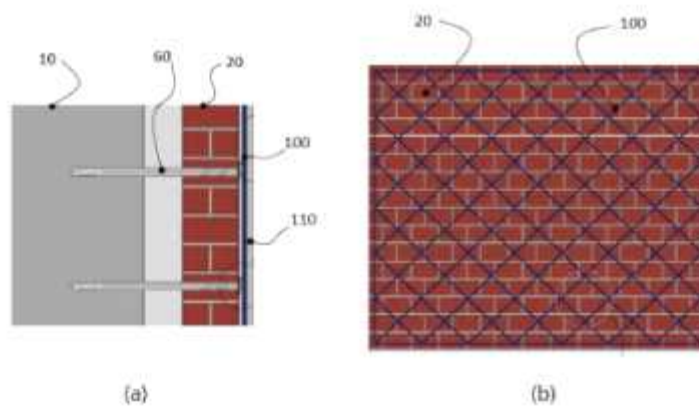
【도 5】



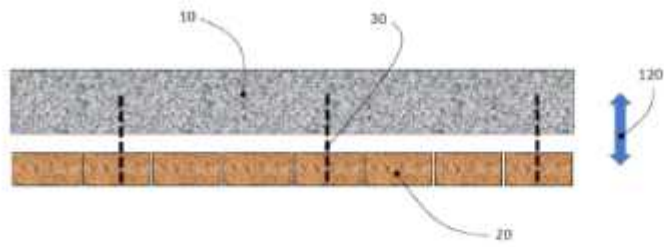
【도 6】



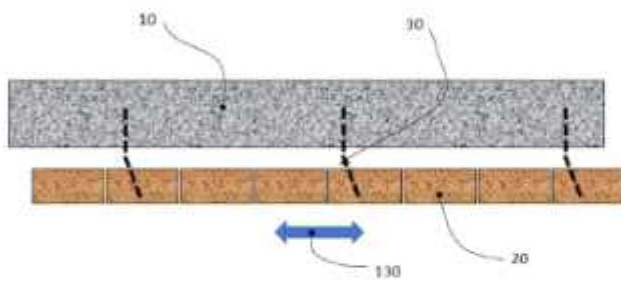
【도 7】



【도 8】

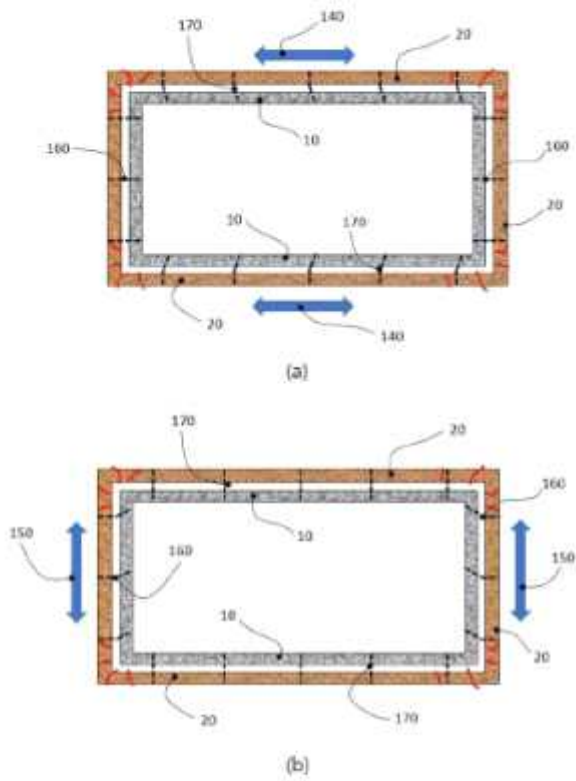


(a)

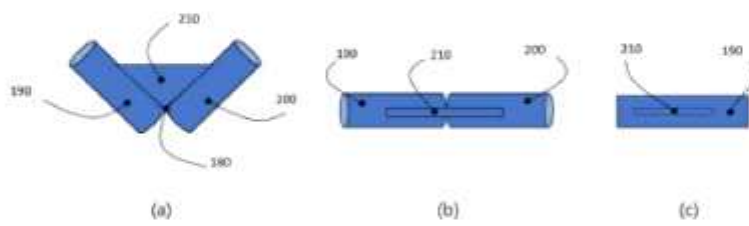


(b)

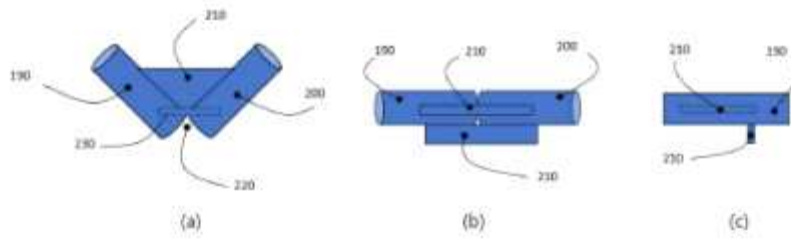
【도 9】



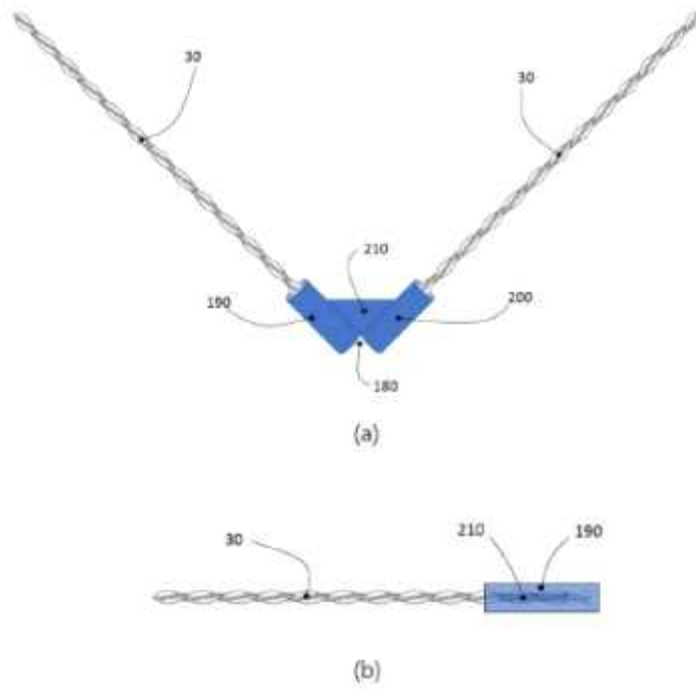
【도 10】



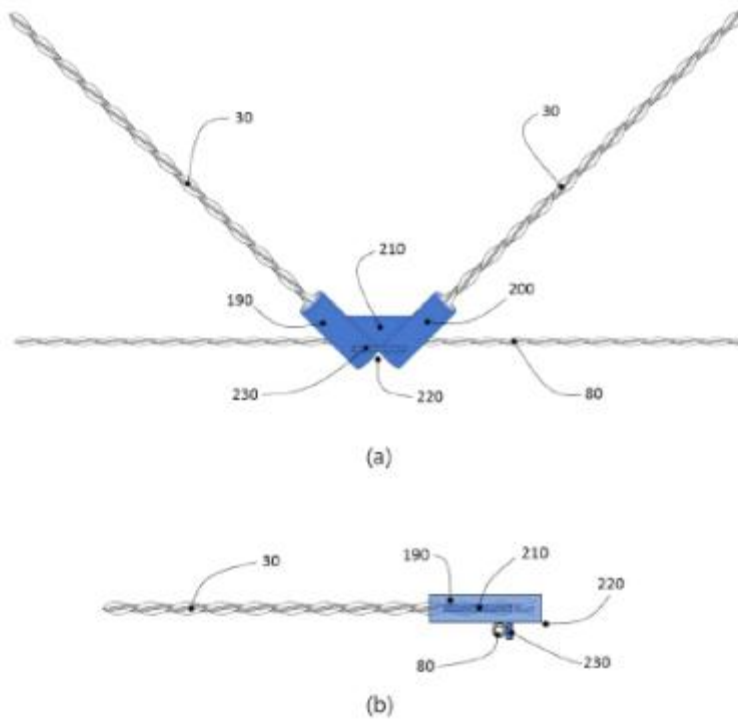
【도 11】



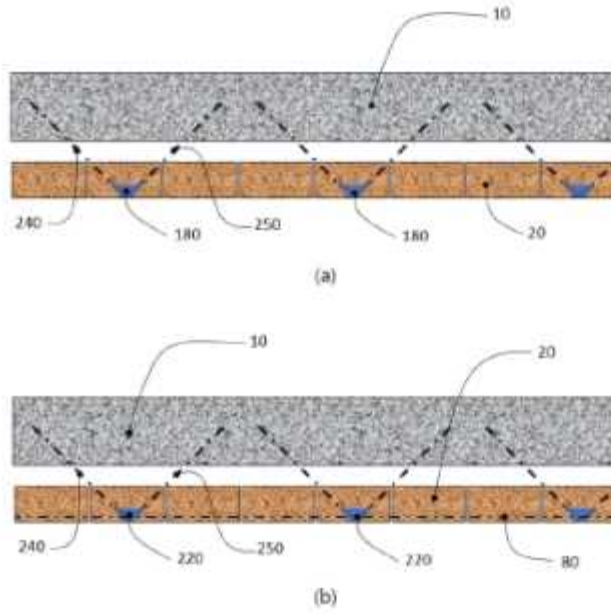
【도 12】



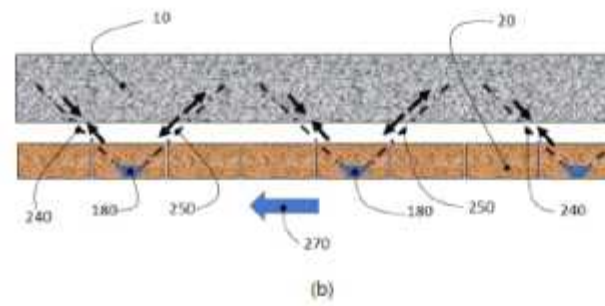
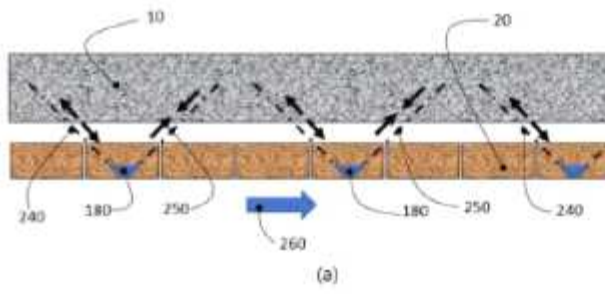
【도 13】



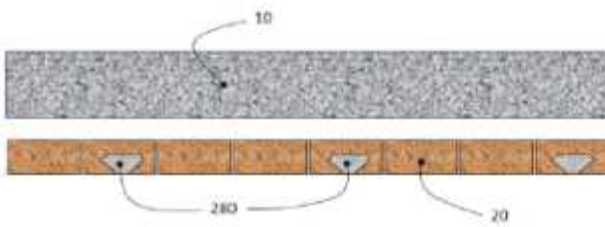
【도 14】



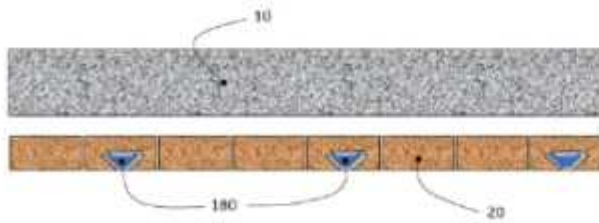
【도 15】



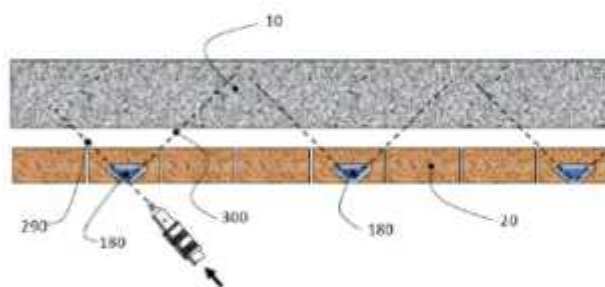
【도 16a】



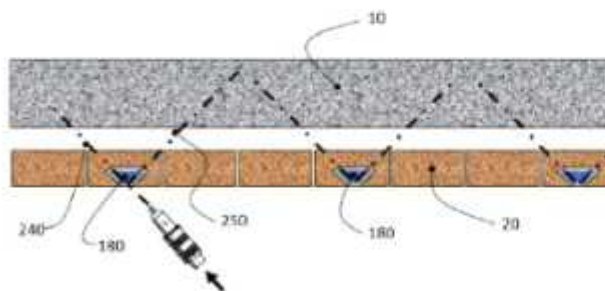
【도 16b】



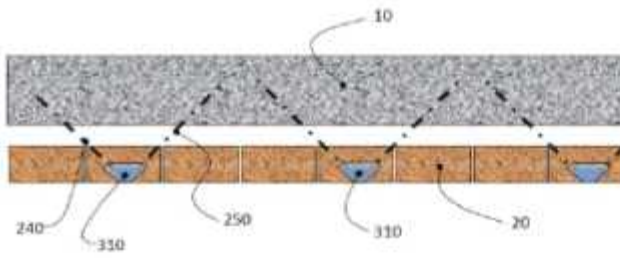
【도 16c】



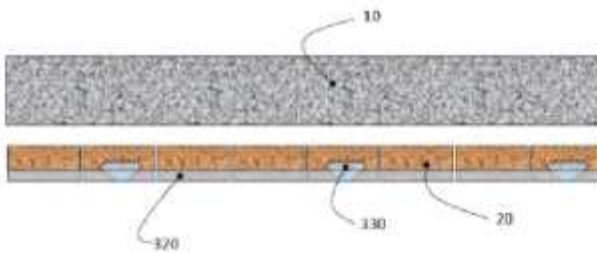
【도 16d】



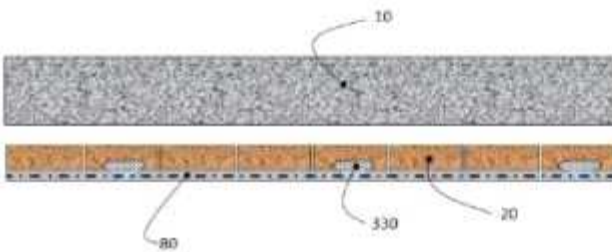
【도 16e】



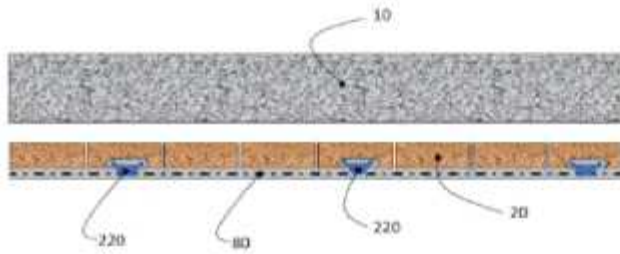
【도 17a】



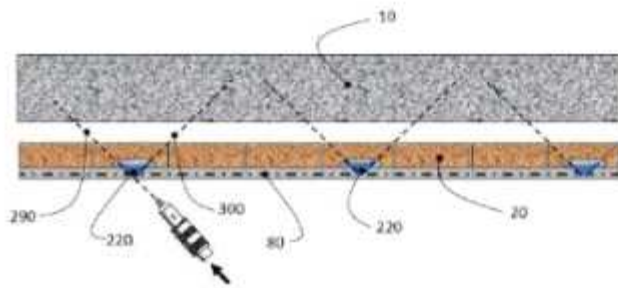
【도 17b】



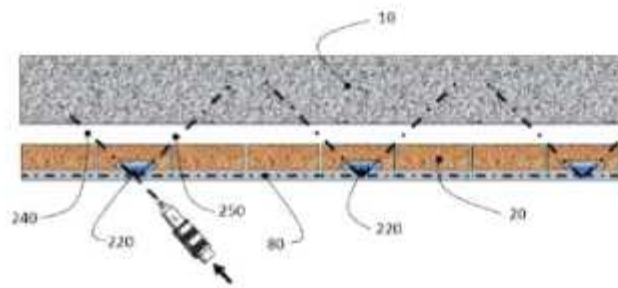
【도 17c】



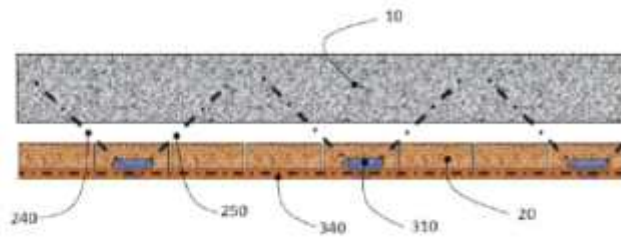
【도 17d】



【도 17e】



【도 17f】



- [증빙 3-2.3] 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2021.10.19
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출 원 번 호 10-2021-0139448 (접수번호 1-1-2021-1196496-58)
 (DAS접근코드7D88)
 출 원 인 명 칭 세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2) 외 1명
 대 리 인 성 명 송세균(9-2002-000122-3)
 발 명 자 성 명 이기학 문아해 진수민 신지옥
 발 명 의 명 칭 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터☎ 1544-8080에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr> 지식재산제도

【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	세종대학교산학협력단
【특허고객번호】	2-2005-011470-2
【지분】	75.00/100
【출원인】	
【명칭】	경상국립대학교산학협력단
【특허고객번호】	2-2004-010719-4
【지분】	25.00/100
【대리인】	
【성명】	송세근
【대리인번호】	9-2002-000122-3
【발명의 국문명칭】	이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상 평가 시스템 및 그 방법
【발명의 영문명칭】	HYBRID DAMAGE EVALUATION SYSTEM FOR MASONRY CONSTRUCTION STRUCTURE USING IMAGE DATA, AND METHOD FOR THE SAME
【발명자】	
【성명】	이기학
【성명의 영문표기】	Kihak Lee

【주민등록번호】	680416-1XXXXXX
【주소】	서울특별시 송파구 올림픽로 4길 42, 20동 703호 (잠실동, 우성아파트)
【발명자】	
【성명】	문아해
【성명의 영문표기】	Ahae Moon
【주민등록번호】	950320-2XXXXXX
【주소】	서울특별시 성북구 대사관로 8길 18, 6호
【발명자】	
【성명】	진수민
【성명의 영문표기】	Sumin Jin
【주민등록번호】	981002-2XXXXXX
【주소】	서울특별시 노원구 공릉동 설발로123, 302동 1310호
【발명자】	
【성명】	신지욱
【성명의 영문표기】	Jiuk Shin
【주민등록번호】	840225-1XXXXXX
【주소】	경상남도 진주시 소호로 39(한빛불에버) 110동 302호
【출원언어】	국어
【심사청구】	청구
【공지예외적용대상증명서류의 내용】	
【공개형태】	한국공간구조학회지 게재

【공개일자】 2020.12.31

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1615012143

【과제번호】 158044

【부처명】 국토교통부

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통기술촉진연구

【연구과제명】 지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발

【기여율】 0.75/1

【과제수행기관명】 (주)미래구조엔지니어링

【연구기간】 2020.04.13 ~ 2021.12.31

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1711137342

【과제번호】 2021R1F1A1059976

【부처명】 과학기술정보통신부

【과제관리(전문)기관명】 한국연구재단

【연구사업명】 개인기초연구

【연구과제명】 인공지능 기반 지역 단위 건축물 내진 성능 데이터 생성 엔진 개발

【기여율】 0.25/1

【과제수행기관명】 경상국립대학교

【연구기간】 2021.06.01 ~ 2022.02.28

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 송세근 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 75 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【실사청구료】 18 항 935,000 원

【합계】 981,000 원

【감면사유】 전달조직(50%감면)[2]

【감면후 수수료】 490,500 원

【첨부서류】 1.기타첨부서류[위임장-세종대, 경상국립대]_1통 2.지분약정서_1통 3.기타첨부서류[법인인감증명서-세종대, 경상국립대]_1통 4.공지예외적용대상(신규성장실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류[한국공간구조학회지]_1통

1 : 기타첨부서류
[PDF 파일 첨부](#)

2 : 지분약정서

[PDF 파일 첨부](#)

3 : 기타첨부서류

[PDF 파일 첨부](#)

4 : 공지에외적용대상(신규성상실의예외, _출원시의특례)규정을_적용받기_위한_증명
서류

[PDF 파일 첨부](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법 {HYBRID DAMAGE EVALUATION SYSTEM FOR MASONRY CONSTRUCTION STRUCTURE USING IMAGE DATA, AND METHOD FOR THE SAME}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 조적조 건축물에서 발생하는 균열(Crack)과 같은 손상을 인공지능(AI) 기반으로 이미지 데이터를 활용하여 조적조 건축물의 손상 여부, 손상규모 및 지진 안전성 평가결과를 결합하여 하이브리드 손상평가를 제공하는, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 일반적으로, 조적조 건축물은 조적 벽돌을 이용하여 벽체(조적 벽체)를 쌓아 올리고, 그 위에 인방보 또는 인방보 없이 상부에 콘크리트로 시공되는 슬래브를 설치한다. 따라서 조적조 건축물의 조적 벽체 파괴 시, 슬래브를 지지할 수 있는 구조체가 없어지므로 전체 건축물의 붕괴로 이어질 수 있다는 문제점이 있다.

【0003】 도 1a는 일반적인 조적조 건축물인 조적 벽체를 나타내는 사시도이고, 도 1b는 조적조 건축물에서 치장벽들의 탈락을 예시하는 사진이다.

【0004】 도 1a에 도시된 바와 같이, 비보강 조적조 건축물은 조적 벽체를 구성하는 조적 벽돌을 교차계인 모르타르를 이용하여 한 장씩 접착시켜 쌓아올리는 공법을 사용하기 때문에 수평방향 구속력이 부족하고, 지진력과 같은 수평력에 대해서는 매우 취약한 구조인 것이 특징이다. 특히, 건축물의 외관을 좋게 하기 위하여 조적 벽체 바깥쪽에 단열재를 시공한 후, 외부 마감재로서 치장개(또는 외장벽돌등)을 시공하고 있다.

【0005】 이에 따라, 지진과 같은 수평력이 작용하면 조적 벽체의 조적 벽돌 개체간 연속성이 파괴되면서 상부슬래브 하중의 지지능력이 상실되고, 이로 인하여 벽체 및 슬래브 붕괴에 의해 인명피해가 발생할 수 있다.

【0006】 이러한 지진발생시 인명피해의 대부분은 건축물의 붕괴에 따른 압사에 의해 발생되는데, 특히, 해외 지진피해사례에서 나타난 바와 같이, 비보강 조적조 건축물은 지진 발생시 붕괴된 가옥의 대부분을 차지하고 있으며, 피해 정도가 타 구조형식에 의한 건축물에 비하여 매우 심각하다.

【0007】 한편, 건축물에 발생하는 손상을 판단하는 과정에서 필수적인 검사 항목으로서 균열(Crack)을 판단해야 하며, 이때, 검사자가 현장에서 직접 균열을 관찰하여 수행하는 방식으로 이루어진다.

【0008】 이러한 현장 균열 판단은 검사자의 역량 및 주변환경에 따라 대번 다른 결과를 도출하므로 객관적 지표로 타당하지 않으며, 많은 시간이 소요될 수 있다.

【0009】 특히, 조적조가 다양한 건축구조물에 광범위하게 사용되는 현실을 고려하면, 재난 발생 전에 조적조 건축물의 균열을 판단하여 구조안전성을 미리 확보하는 것은 용이하지 않기 때문에 비효율적이다.

【0010】 또한, 종래의 기술에 따른 검사자에 의한 평가방법의 경우, 균열에 의한 구조 안전성의 판단 기준이 명확하지 않은 상태에서 검사자의 역량에 의존하고 있기 때문에 객관적인 데이터 기반의 비구조요소 안전진단은 불가능하다.

【0011】 따라서 검사자에 의한 평가방법은 객관적 지표를 산출하는데 바람직하지 않으며, 또한 정확한 보강방안 산출이 어렵다는 한계가 있다.

【0012】 또한, 국내의 주거 건물의 많은 부분을 차지하는 기존의 조적조 건축물은 저층으로 명확한 내진설계 지침이 마련되기 전에 대부분 건립되었다.

【0013】 이에 국내 조적조 건축물의 경우, 구조특성상 수평하중에 대한 저항 능력이 매우 약하고, 재난관리 시설물 중에서도 지진에 대한 붕괴위험이 높은 것으로 예상된다. 또한, 국내의 경우에도 큰 지진의 발생 가능성이 높아짐에 따라 기존 조적조 건축물에 대한 내진성능의 파악 및 이에 대한 대책 마련이 절실히 필요하다.

【0014】 한편, 도 2는 종래의 기술에 따른 건축물 내진성능 평가 방법의 등각호름도이다.

【0015】 종래의 기술에 따른 건축물 내진성능 평가는, 크게 현장조사, 예비평가, 1차 상세평가 및 2차 상세평가의 4단계에 걸쳐 개별 건축물의 내진성능을 평가하거나, 또는 구체적인 평가단계로서, 현장조사를 제외한 3단계에 걸쳐 개별 건축물의 내진성능을 평가할 수 있다.

【0016】 도 2를 참조하면, 종래의 기술에 따른 건축물 내진성능 평가 방법은,

【0017】 먼저, 건축물 현장 조사를 실시하고(S11),

【0018】 이후, 정형 건축물인지 여부를 확인한다(S12),

【0019】 다음으로, 정형 건축물인 경우, 정형 건축물에 대한 예비평가를 실시하며(S13),

【0020】 이러한 예비평가 결과가 내진성능을 만족하는지 확인한다(S14),

【0021】 이때, 예비평가 결과가 내진성능을 만족하는 경우 건축물 내진성능을 확정하지만, 예비평가 결과가 내진성능을 만족하지 않거나, 정형 건축물이 아닌 경우, 선형 해석을 통해 내진성능의 1차 상세평가를 실시한다(S15),

【0022】 다음으로, 1차 상세평가 결과가 내진성능을 만족하는지 확인하고(S16),

【0023】 1차 상세평가 결과가 내진성능을 만족하는 경우 건축물 내진성능을 확정하지만, 1차 상세평가 결과가 내진성능을 만족하지 않는 경우 비선형 해석을 통한 내진성능의 2차 상세평가를 실시한다(S17),

【0024】다음으로, 내진성능의 2차 상세평가를 실시한 후 건축물 내진성능을 확정하고(S18), 해당 건축물에 대한 내진보강이 필요한지 여부를 확인한다(S19).

【0025】다음으로, 해당 건축물에 대한 내진보강이 필요한 경우, 건축물 내진보강 계획을 수립하고(S20),

【0026】이후, 건축물 내진보강 시스템을 설계한다(S21).

【0027】전술한 현장조사, 예비평가, 1차 및 2차 상세평가를 통해서 하나의 건축물의 내진성능과 관련된 데이터가 생성된다.

【0028】하지만, 이러한 과정을 국내 약 700만동 건축물에 적용하여 데이터를 확보하고, 이를 바탕으로 재난 발생 전에 건축물의 구조안전을 확보하는 방법은 비현실적인 방법이라고 할 수 있다.

【0029】한편, 선행기술로서, 대한민국 등록특허번호 제10-2122893호에는 "UAV 탑재용 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 시스템 및 그 방법"이라는 명칭의 발명이 개시되어 있는데, 도 3을 참조하여 설명한다.

【0030】도 3은 종래의 기술에 따른 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

【0031】도 3을 참조하면, 종래의 기술에 따른 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 방법은, 먼저, 대상 구조물에 대한 하이브리드 이미지 스캐닝을 처리한다(S30),

【0032】구체적으로, 가진 장치를 통해 대상 구조물에 연속과 라인 데이터를 조사하되, 이와 병렬적으로 가진 장치와 동기화된 센싱 장치를 통해 대상 구조물로부터 방사된 열파를 계속하여 생성된 원시 열화상 데이터와 대상 구조물의 외관을 촬영한 원시 실화상 데이터를 획득한다. 이때, 원시 열화상 데이터 및 원시 실화상 데이터는 제어장치로 제공된다.

【0033】다음으로, 원시 열화상 이미지와 원시 실화상 이미지들을 각각 균열 검출에 적합하도록 재구성하는 데이터 프로세싱을 처리한다(S40).

【0034】구체적으로, 제어장치는 원시 열화상 이미지와 원시 실화상 이미지들 각각에 영상 왜곡 보정 처리를 수행하여, 왜곡 보정된 열화상 이미지 및 왜곡 보정된 실화상 이미지를 획득한다(S41).

【0035】이후, 제어장치는 왜곡 보정된 열화상 이미지 및 왜곡 보정된 실화상 이미지에 대해 시공간 통합과표 변환을 수행하여, 각각 시공간 통합된 열화상 이미지와 시공간 통합된 실화상 이미지를 획득한다(S42).

【0036】이후, 제어장치는 시공간 통합된 열화상 이미지에 대해 균열 시각화를 위한 데이터 프로세싱을 수행하여 균열정보가 포함된 열화상 이미지를 획득한다(S43).

【0037】다음으로, 제어장치는 균열이 시각화된 이미지에 대한 균열 평가 자동화 처리를 수행한다(S50).

【0038】구체적으로, 제어장치는 사전에 균열 평가용 실화상 이미지가 학습된 인공지능망을 통해, 획득된 시공간 통합된 실화상 이미지에 대해 딥러닝 프로세스를 수행하고, 그 결과로서 균열정보가 포함된 실화상 이미지를 획득한다(S51).

【0039】이후, 제어장치는 균열정보가 포함된 실화상 이미지에 포함된 가짜 균열정보를 제거하기 위하여, 획득된 균열정보가 포함된 열화상 이미지와의 이미지 매칭을 통한 의사결정 처리를 수행한다(S52).

【0040】다음으로, 제어장치는 균열정보가 시각화된 최종 결과 이미지를 출력한다(S60).

【0041】이에 종래의 기술에 따른 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 방법에 따르면, UAV(unmanned aerial vehicle)를 활용한 하이브리드 이미지 스캐닝을 처리함으로써, 인력의 접근 없이도 대형 구조물의 균열을 비파괴 및 비접촉식으로 검사할 수 있고, 또한, 하이브리드 이미지 스캐닝 결과에 대해 딥러닝 프로세스를 적용함으로써 인력의 주관 개입 없이 자동으로 정확한 균열 평가를 수행할 수 있음을 알 수 있다.

【0042】한편, 다른 선행기술로서, 대한민국 공개특허번호 제2021-54666호에는 "구조물 균열 검출 모니터링 시스템 및 방법"이라는 명칭의 발명이 개시되어 있는데, 도 4 및 도 5를 참조하여 설명한다.

【0043】도 4는 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 시스템의 구성도이다.

【0044】도 4를 참조하면, 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 시스템은 관측부(10), 균열검출부(20), 제어부(30) 및 모니터링부(40)를 포함하여 구성될 수 있다.

【0045】관측부(10)는 측정대상물로부터 떨어진 측정위치에서 상기 측정대상물을 촬영하고, 균열검출부(20)는 관측부(10)에서 촬영된 이미지를 바탕으로 균열을 검출하고, 균열이 표시된 새로운 이미지를 생성한다.

【0046】제어부(30)는 균열검출부(20)에서 생성된 이미지에 대해 균열의 위치 및 크기를 연산하고, 모니터링부(40)는 제어부(30)로부터 데이터를 전송받아 측정대상물의 균열을 모니터링하는 어플리케이션이 설치된다.

【0047】이때, 균열검출부(20)는 관측부(10)에서 촬영된 이미지에서 균열판단형상을 분리하고, 균열판단형상으로부터 특징을 추출하여, 추출된 특징을 입력데이터로 하는 다중 인공신경망에 의해 균열판단형상이 균열인지 여부를 판단한 후,

【0048】균열로 판단된 형상을 관측부(10)에서 촬영된 이미지에 병합하여 소정의 색상으로 표시한 별도의 이미지를 생성한다.

【0049】도 5는 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

【0050】도 5를 참조하면, 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 방법은, 링거리에서 구조물을 촬영하는 단계(S71); 촬영된 데이터를 전처리하는 단계(S72); 전처리된 데이터에서 특징을 추출하는 단계(S73); 다중 인공신경망을 통해

추출된 특징으로부터 균열이 검출되는 단계(S74); 검출된 균열이 표시된 별도의 이미지 데이터를 생성하는 단계(S75); 생성된 이미지를 기초로 균열의 위치, 크기가 연산되는 단계(S76); 모니터링부로 데이터가 전송되는 단계(S77); 모니터링부에서 알람이 작동되는 단계(S78); 및 모니터링부를 통해 구조물 균열을 모니터링하는 단계(S79)를 포함하여 이루어진다.

【0051】 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 시스템 및 방법에 따르면, 원거리에서 구조물을 촬영하여 균열을 감지할 수 있고, 촬영된 데이터를 바탕으로 균열의 위치 및 크기를 측정할 수 있다.

【0052】 또한, 스마트 기기 등을 이용하여 원거리에서 측정대상물의 균열을 모니터링할 수 있고, 원거리에서 균열을 모니터링함에 따라 기존 현장조사에 따른 인력사용, 비용을 줄이고, 안전사고를 예방할 수 있으며, 또한, 구조물을 촬영하고, 이를 토대로 균열을 판단한 후, 균열이 검출되는 경우에는 알람이 작동되도록 구성되어 사용자의 업무 효율을 높일 수 있다.

【0053】 전술한 바와 같이, 종래의 기술에 따른 조적조 건축물의 내진성능 안전평가는 막대한 비용 및 시간 소모가 불가피하다.

【0054】 구체적으로, 지진은 단일 건축물에 손상을 입히는 재난이 아닌 광역/도시 단위로 손상을 입히기 때문에 조적조의 균열 양상을 조사하기 위해서는 개별 조적조 건축물에 대하여 인력 파견을 통하여 외부 조사가 필요하다.

【0055】하지만, 건축물의 외부 조사는 안전상의 위험이 뒤따르고 있고, 외부 조사를 위한 가시설 또는 장비를 동원해야 하므로 시간과 비용 소모가 뒤따른다.

【0056】즉, 기존 비구조벽에 대한 구조 안전성 평가 및 데이터가 부족한 상황에서 인력에 의한 조적조 건축물의 구조 안전성 평가는 시간과 비용의 소모 및 결과도 판단의 기준이 미흡한 상황이다.

【0057】이와 더불어 도시/지역 단위의 건축물의 손상 조사를 위하여 모든 건축물을 조사하는 것은 현재 대다수의 중소규모의 안전진단 업체는 이에 대한 인력이 부족한 실정이다.

【0058】또한, 노후 건축물의 보수보강 수요가 증가하고 있는 실정이지만, 이에 따른 안전진단 업무에 인력 수급에 어려움이 많은 실정이다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0059】(특허문헌 0001) 대한민국 등록특허번호 제10-2122893호(등록일: 2020년 6월 9일), 발명의 명칭: "UAV 탑재용 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 시스템 및 그 방법"

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허번호 제2021-54666호(공개일: 2021년 5월 14일), 발명의 명칭: "구조물 균열 검출 모니터링 시스템 및 방법"

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허번호 제10-1150237호(등록일: 2012년 5월 21일), 발명의 명칭: "조적조 건축물의 내진 보강장치 및 내진 보강방법"

(특허문헌 0004) 대한민국 공개특허번호 제2020-13148호(공개일: 2020년 2월 6일), 발명의 명칭: "콘크리트 구조물 결함 분석 서비스 제공 방법, 시스템 및 컴퓨터 프로그램"

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0060】 건설한 문제점을 해결하기 위한 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 조적조 건축물의 균열 이미지 데이터를 기반으로 조적조 건축물의 균열 판단, 손상규모 및 보강안을 최종적으로 도출하는 통합 데이터엔진 시스템으로서, 별도의 컴퓨터 해석 없이 기계학습/딥러닝을 활용한 조적조 건축물에 대한 내진성능 평가를 수행할 수 있는, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

【0061】 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 이산요소해석을 바탕으로 조적조 건축물의 구조성능 데이터 및 이미지 데이터의 균열 판단 기법을 결합한 하이브리드 기술로서, 조적조의 균열 이미지만으로 조적조 건축물의 상태를 판정하고 보강안을 신속하고 정확하게 수립할 수 있는, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

【0062】 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 균열이 발생한 조적조 건축물의 신속하고 정확한 균열 판단 및 그 규모를 파악하여 객관적이고 타당

한 보수 방안을 도출하여 조적조 건축물의 안전진단 과정에 드는 시간과 비용을 최소화하며, 조적조 건축물의 치장벽돌 탈락에 의한 인명피해를 최소화할 수 있는, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

【과제의 해결 수단】

【0063】 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 수단으로서, 본 발명에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템은, 사용자가 모바일앱-기반 카메라를 사용하여 조적조 건축물을 촬영하여 획득한 이미지 데이터를 수집하는 이미지 데이터 수집부; 상기 이미지 데이터 수집부에서 수집한 이미지 데이터를 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 상기 조적조 건축물의 균열을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 손상정보로 출력하는 손상 탐지모듈; 상기 이미지 데이터 수집부에서 수집한 이미지 데이터를 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 픽셀-기반의 손상규모를 측정하는 손상규모 측정모듈; 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성을 위한 입력변수 및 출력변수를 설정하는 입출력 변수 설정부; 상기 입출력 변수에 따른 학습데이터 세트를 생성하고, 딥러닝-기반의 인공신경망 모델에 따라 상기 조적조 건축물의 지진 안전성을 평가하는 지진 안전성 평가모듈; 및 상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성 평가결과를 결합한 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공하는 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부를 포함하되, 상기 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부는 사용자가 상기 조적조 건축물에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여 상기 조적조 건축물의 하이브리

드 손상수준 평가결과를 출력하는 것을 특징으로 것을 특징으로 한다.

【0064】본 발명에 따른 이미지 데이터 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템은, 상기 하이브리드 손상수준 평가결과에 따라 보강안을 수립하고, 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정하는 보강안 및 수리비용 산정부를 추가로 포함할 수 있다.

【0065】여기서, 상기 모바일앱-기반 카메라는 스마트폰에 내장되거나 또는 드론에 탑재되며, 상기 조적조 건축물에 대한 조적조 이미지를 획득하여 상기 이미지 데이터 수집부에게 무선으로 전송할 수 있다.

【0066】여기서, 상기 손상 탐지모듈은, 상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력데이터로 설정하는 입력데이터 설정부; 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따른 손상분류 학습모델을 구성하여 균열 발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류하는 손상 분류부; 및 상기 조적조 건축물에 대한 균열 이미지에 따른 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력하는 손상정보 출력부를 포함할 수 있다.

【0067】여기서, 상기 입력데이터 설정부는 상기 조적조 이미지의 균열 양상을 수직균열, 수평균열, 대각균열 또는 벽돌균열로 분류하여 상기 손상 분류부의 입력변수로 설정하고, 상기 손상분류 학습모델의 학습데이터를 구성할 수 있다.

【0068】여기서, 상기 손상분류 학습모델은 인간의 시각처리를 모방한 합성곱 신경망(CNN) 모델로서 ResNet(Residual Network) 알고리즘에 따라 구현되는 것

을 특징으로 한다.

【0069】여기서, 상기 손상규모 측정모듈은, 상기 이미지 데이터 수집부에서 수집되는 조적조 이미지에 대해 치장벽돌과 모르타르의 경계를 분리하는 이진화를 위해서 이미지 임계처리를 수행하는 이미지 임계처리부; 픽셀 그룹을 판용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성하는 이미지 분석부; 상기 이미지 분석부에서 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑시켜 균열 픽셀을 생성하는 균열 매핑부; 및 상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정하는 손상규모 측정부를 포함할 수 있다.

【0070】여기서, 상기 이미지 분석부는 이미지 분석 기법인 BLOB(Binary Large Object) 해석을 진행하여 치장벽돌 한 개씩 인식할 수 있다.

【0071】여기서, 상기 손상규모 측정부는 상기 조적조 건축물의 이미지만으로 실제 치장벽돌의 길이를 참조 객체로 하여 상기 조적조 건축물의 손상 길이를 정밀하게 누적 산정하는 것을 특징으로 한다.

【0072】여기서, 상기 지진 안전성 평가모듈은, 상기 입력변수들의 조합 설정하여 상기 조적조 이미지로부터 상기 조적조 건축물 모델을 형성하는 이산요소 해석부; 상기 입력변수에 따라 학습데이터 세트를 생성하는 학습데이터 세트 생성부; 및 상기 학습데이터 세트 생성부에서 생성된 학습데이터 세트를 딥러닝-기반의 인공지능망 모델에 적용하여 지진 안전성을 평가하는 지진 안전성 평가부를 포함할 수 있다.

【0073】여기서, 상기 이산요소 해석부는 상용 이산요소해석 프로그램인

3DEC을 이용하여 상기 조적조 건축물 모델을 형성하는 것을 특징으로 한다.

【0074】여기서, 상기 지진 안전성 평가부의 딥러닝-기반의 인공지능망 모델은, 학습데이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진지역 수평 지진하중, 모르타르 수직강성 및 모르타르 전단강성을 입력인자로 하고, 최대 변위, 허용 층간변형률 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공지능망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력결과에 가장 유사한 값을 도출할 수 있다.

【0075】한편, 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 다른 수단으로서, 본 발명에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법은, a) 모바일앱-기반 카메라를 사용하여 조적조 건축물을 사진 촬영하는 단계; b) 이미지 데이터 수집부가 상기 조적조 건축물을 촬영한 이미지 데이터를 무선으로 수신하는 단계; c) 손상 탐지모듈이 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 균열을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 탐지하는 단계; d) 손상규모 측정모듈이 조적조 이미지에 대해 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 손상규모를 측정하는 단계; e) 상기 조적조 건축물의 내진성능을 확인하도록 입출력 변수를 설정하는 단계; f) 상기 입출력 변수에 따라 학습데이터 세트를 생성하는 단계; g) 상기 학습데이터 세트가 적용되는 딥러닝-기반의 인공지능망 모델에 따라 상기 조적조 건축물의 지진 안전성을 평가하는 단계; 및 h) 상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성에 따른 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공하는 단계를 포함하되, 상기 h) 단계에서 사용자가 상기 조적조 건축물에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여

상기 조적조 건축물의 하이브리드 손상수준 평가결과를 출력하는 것을 특징으로 한다.

【0076】본 발명에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법은, i) 상기 조적조 건축물의 하이브리드 손상수준 평가결과에 대응하는 보강안을 수립하여 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

【0077】여기서, 상기 c) 단계에서 상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력 데이터로 설정하고, 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 손상분류 학습모델을 형성하여 균열 발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류하여, 조적조의 균열 이미지에 따른 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력할 수 있다.

【0078】여기서, 상기 d) 단계에서 조적조 이미지에 대해 치강벽과 모르타르의 경계를 분리하는 이진화를 위해 이미지 임계처리를 수행하고, 픽셀 그룹을 활용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성하며, 상기 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑시켜 균열 픽셀을 생성하고, 상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정할 수 있다.

【0079】여기서, 상기 f) 단계는, f-1) 상기 조적조 건축물의 손상평가 관련 문헌 조사 및 분석을 통한 입력력 변수를 설정하는 단계; f-2) 이산요소해석 프로그램을 이용하여 조적조 건축물 모델을 형성하는 단계; f-3) 지진하중, 모르타르의 강성값 및 연결철물 유무의 입력변수를 적용한 조적조 건축물 모델에 대한 응답을 생

성하는 단계: 및 f-4) 상기 입출력 변수의 변화를 통해 출력값을 도출하는 단계: 및 f-5) 내진성능 프로파일과 지진 시나리오가 고려된 입출력 학습데이터 세트를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

【0080】여기서, 상기 g) 단계의 딥러닝-기반의 인공지능망 모델은, 학습데이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진지역 수평지진하중, 모르타르 수직강성 및 모르타르 전단강성을 입력인자로 하고, 최대 변위, 허용 층간 변형률 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공지능망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력결과에 가장 유사한 값을 도출하는 것을 특징으로 한다.

【발명의 효과】

【0081】본 발명에 따르면, 조적조 건축물의 균열 이미지 데이터를 기반으로 조적조 건축물의 균열 판단, 손상규모 및 보강안을 최종적으로 도출하는 통합 데이터엔진 시스템으로서, 별도의 컴퓨터 해석 없이 기계학습/딥러닝을 활용한 조적조 건축물에 대한 내진성능 평가를 수행하며, 아직까지 내진성능 데이터가 부족한 조적조 건축물에 대해서 다양한 보강안을 제시할 수 있다.

【0082】본 발명에 따르면, 이산요소해석을 바탕으로 조적조 건축물의 구조 성능 데이터 및 이미지 데이터의 균열 판단 기법을 결합한 하이브리드 기술로서, 조적조의 균열 이미지만으로 조적조 건축물의 상태를 판정하고 보강안을 신속하고 정확하게 수립할 수 있다. 이를 통해 현재 대다수 조적조 건축물의 내진성능 관련 데이터가 부족한 상황에서 내진성능 데이터를 구축할 수 있고 신속 정확하게 내진 보

강안 및 수리비용을 산정할 수 있다.

【0083】 본 발명에 따르면, 균열이 발생한 조적조 건축물의 신속하고 정확한 균열 판단 및 그 규모를 파악하여 객관적이고 타당한 보수 방안을 도출하여 조적조 건축물의 안전진단 과정에 드는 시간과 비용을 최소화하며, 조적조 건축물의 치장벽을 탈락에 의한 인명피해를 최소화할 수 있다.

【0084】 본 발명에 따르면, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템으로서 소요시간, 비용 그리고 인력을 획기적으로 절감할 수 있으며, 조적조 건축물이 많이 적용된 학교시설 및 5층 이하 중저층 건물에서 활발하게 활용할 수 있다. 특히, 재난 발생 이전 피해규모 최소화를 위한 노후 건축물의 안전성 판단을 위한 지표로 활용할 수 있으며, 안전 여부를 신속하게 확인하고 보강의 우선순위를 결정할 수 있는 비구조재의 내진성능 평가 및 보강 관련 기능의 사결정 엔진으로도 활용할 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0085】 도 1a는 일반적인 조적조 건축물인 조적 벽체를 나타내는 사시도이고, 도 1b는 조적조 건축물에서 치장벽들의 탈락을 예시하는 사건이다.

도 2는 종래의 기술에 따른 건축물 내진성능 평가 방법의 동작흐름도이다

도 3은 종래의 기술에 따른 하이브리드 이미지 스캐닝에 기반한 자동화 구조물 균열 평가 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

도 4는 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 시스템의

구성도이다.

도 5는 종래의 기술에 따른 구조물 균열 검출 모니터링 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 구성도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 모바일 앱-기반 카메라가 탑재되는 스마트폰 및 드론을 예시하는 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 조적조 건축물을 촬영한 조적조 이미지를 나타내는 사진이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 손상 탐지모듈의 구체적인 구성도이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 손상규모 측정모듈의 구체적인 구성도이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 지진 안전성 평가모듈의 구체적인 구성도이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 이미지-기반 조적조 손상 탐지 및 손상규모 측정 과정을 구체적으로 나타내는 동작흐름도이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 균열 유형을 예시하는 사진이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 손상정보로 출력되는 손상 유무를 설명하기 위한 도면이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 조적조 이미지내 그리드 생성을 설명하기 위한 도면이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 픽셀 단위의 손상규모 측정을 설명하기 위한 도면이다.

도 18a 내지 도 18c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 입력변수의 모델링을 예시하는 도면이다.

도 19는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트의 생성을

구체적으로 설명하기 위한 동작흐름도이다.

도 20은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서 입력변수를 조합 설정하는 것을 예시하는 도면이다.

도 21a 내지 도 21c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서 단순화된 조적조 실험체로 변수입력 및 해석결과를 비교하는 것을 나타내는 도면이다.

도 22a 내지 도 22c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값을 도출하는 것을 예시하는 도면이다.

도 23은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값에 따라 학습데이터 세트를 구축하는 것을 예시하는 도면이다.

도 24는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 인공지능망 모델을 나타내는 도면이다.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0086】아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

【0087】명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

【0088】[이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템(100)]

【0089】도 6은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 구성도이다.

【0090】도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템(100)은, 이미지 데이터 수집부(110), 손상 탐지모듈(120), 손상규모 측정모듈(130), 지진 안전성 평가모듈(140), 입력력 변수 설정부(150), 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부(160) 및 보강안 및 수리비용 산정부(170)를 포함한다.

【0091】 이미지 데이터 수집부(110)는 사용자가 모바일앱-기반 카메라(200)를 사용하여 조적조 건축물(300)을 촬영하여 획득한 이미지 데이터를 수집한다.

【0092】 이때, 상기 모바일앱-기반 카메라(200)는, 도 7에 도시된 바와 같이 스마트폰(200a)에 내장되거나 또는 드론(200b)에 탑재됨으로써 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 획득하여 상기 이미지 데이터 수집부(110)에게 무선으로 전송한다.

【0093】 또한, 상기 조적조 건축물(300)은 치장벽돌(310), 모르타르(320) 및 연결철물(330)로 이루어지며, 상기 이미지 데이터 수집부(110)는 상기 조적조 건축물(300)을 촬영한 조적조 이미지를 무선으로 수신한다.

【0094】 손상 탐지모듈(120)은 상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집한 이미지 데이터를 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 균열(Crack)을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 손상정보로 출력한다.

【0095】 즉, 조적조 건축물(300)의 균열은 조적조에 대한 많은 정보를 담고 있으므로, 상기 조적조 건축물(300)의 균열 양상에 따라 조적조 건축물(300)의 내진 성능 및 내구성 등의 정보를 확인할 수 있다.

【0096】 따라서 균열 이미지를 입력 데이터로 설정하여 균열의 발생 여부 및 균열의 양상을 출력값으로 하는 손상 탐지모듈을 제공한다.

【0097】 구체적으로, 조적조 이미지 내의 객체 검출(Object Detection)은 이미지의 픽셀을 숫자 데이터(Digit Data)로 전환한 후, 중요도 산출에 따른 딥러닝

을 진행하여 조적조 이미지 내 지정된 객체를 탐지할 수 있다.

【0098】 예를 들면, 조적조 이미지의 경우, 균열 부위가 치장벽돌(310)과 모르타르(320)로 이루어진 전경(Foreground)과 대조를 이루기 때문에 객체 검출을 이용한 균열 탐지에 적당한 이미지 데이터라고 할 수 있다.

【0099】 이에 따라, 딥러닝 이전에 조적조 이미지 내에 표기해둔 균열에 해당하는 픽셀 부분을 라벨링함으로써 딥러닝 이후 균열로 용이하게 인지할 수 있다.

【0100】 도 6을 다시 참조하면, 손상규모 측정모듈(130)은 상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집한 이미지 데이터를 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 픽셀-기반의 손상규모를 측정한다.

【0101】 지진 안전성 평가모듈(140)은 입출력 변수에 따른 학습데이터 세트를 생성하고, 딥러닝-기반의 인공신경망 모델에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 지진 안전성을 평가한다.

【0102】 입출력 변수 설정부(150)는 지진 안전성 평가를 위한 상기 학습데이터 세트 생성을 위한 입력변수 및 출력변수를 설정한다.

【0103】 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부(160)는 상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성 평가결과를 결합한 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공한다.

【0104】 즉, 상기 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부(160)는 사용자가 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여 상기 조

적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과를 출력한다.

【0105】 보강안 및 수리비용 산정부(170)는 상기 하이브리드 손상수준 평가 결과에 따라 보강안을 수립하고, 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정한다.

【0106】 한편, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 모바일앱-기반 카메라가 탑재되는 스마트폰 및 드론을 예시하는 도면이다.

【0107】 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 모바일앱-기반 카메라(200)는.

【0108】 도 7의 a)에 도시된 스마트폰(200a)에 내장되거나 또는 도 7의 b)에 도시된 드론(200b)에 탑재됨으로써 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 획득하여 상기 이미지 데이터 수집부(110)에게 무선으로 전송한다.

【0109】 다시 말하면, 모바일앱-기반 카메라(200)를 도 7의 a)에 도시된 스마트폰(200a)에 내장하여 사용자가 간편하게 조적조 건축물(300)을 촬영하거나 또는 보다 정확한 조적조 건축물(300)을 촬영하기 위해서는 드론(200b)에 탑재하여 상기 조적조 건축물(300)을 근접 촬영할 수 있고,

【0110】 상기 모바일앱-기반 카메라(200)는 모바일앱 또는 웹과 연동시켜 이미지 데이터를 수집할 수 있다면, 이에 국한되는 것은 아니며,

【0111】 한편, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 조적조 건축물을 촬영한 조적조 이

미지를 나타내는 사진이다.

【0112】 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 경우, 도 8에 도시된 바와 같이, 조적조 건축물(300)은, 도 6의 상단을 참조하면, 치장벽돌(310), 모르타르(320) 및 연결철물(330)로 이루어지며, 상기 이미지 데이터 수집부(110)는 상기 조적조 건축물(300)을 촬영한 조적조 이미지를 무선으로 수신한다.

【0113】 한편, 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 손상 탐지모듈의 구체적인 구성도이다.

【0114】 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 손상 탐지모듈(120)은 입력 데이터 설정부(121), 손상 분류부(122) 및 손상정보 출력부(123)로 이루어진다.

【0115】 입력데이터 설정부(121)는 상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력 데이터로 설정한다.

【0116】 손상 분류부(122)는 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 손상분류 학습모델을 형성하여 균열 발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류한다.

【0117】 여기서, 상기 손상분류 학습모델은 인간의 시각처리를 모방한 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network: CNN) 모델로서 ResNet(Residual Network) 알고리즘에 따라 구현될 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.

【0118】구체적으로, 조적조 건축물(300)의 균열은 구조적 결함, 설계적 결함 또는 시공적 결함의 이유로 발생하며, 각각의 결함은 외관상 균열로 이어진다.

【0119】따라서 조적조 이미지의 균열 양상을 수직균열, 수평균열, 대각균열 또는 벽돌균열로 분류함으로써 상기 손상 분류부(122)의 입력변수로 설정하여 학습 데이터를 구성하게 된다.

【0120】손상정보 출력부(123)는 조적조의 균열 이미지-기반으로 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력한다.

【0121】한편, 통상적으로, 조적조 건축물(300)의 안전진단 과정 시, 균열의 정확한 양을 숫자(Digit)로 표기하는 일은 거의 불가능하다.

【0122】이러한 부정확한 안전진단을 보완하는 방안으로서, 조적조 이미지 내의 균열의 양을 합산하여 정확한 균열지표로 손상규모를 산출하며, 이러한 손상규모에 적합한 보강 방안 및 수리 비용을 산정할 수 있다.

【0123】또한, 국외 선행 연구에서 조적조 이미지 내 모르타르와 벽돌을 분리하여 검출하는 방법이 제시된 바 있다.

【0124】특히, 조적조 이미지는 이미지상 모르타르와 벽돌의 경계가 분명하여 이미지 처리의 기반이 되는 이미지 임계처리(Image Thresholding) 과정을 거친 후 이미지 분석을 하기에 유리한 측면이 크다.

【0125】그러나 실제 조적조 이미지를 분석할 때, 화질의 문제와 더불어 조적조의 노후화에 따른 모르타르와 벽돌의 불분명한 상태가 나타나는 경우가 발생하

므로, 이를 고려하여 보다 정밀하게 모르타르와 벽들의 경계를 분명하게 검출하기 위해서 딥러닝 학습을 수행한다.

【0126】 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 손상규모 측정모듈의 구체적인 구성도이다.

【0127】 도 10을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 손상규모 측정모듈(130)은 이미지 임계처리부(131), 이미지 분석부(132), 균열 매핑부(133) 및 손상규모 측정부(134)를 포함 할 수 있다.

【0128】 이미지 임계처리부(131)는 상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집되는 조적조 이미지에 대해 치장벽들(310)과 모르타르(320)의 경계를 분리하는 이진화를 위해서 이미지 임계처리(Image Thresholding)를 수행한다.

【0129】 이미지 분석부(132)는 픽셀 그룹을 활용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성한다. 여기서, 상기 이미지 분석부(132)는 이미지 분석 기법인 BLOB(Binary Large Object) 해석을 진행하여 치장벽들 한 개씩 인식할 수 있다.

【0130】 균열 매핑부(133)는 상기 이미지 분석부(132)에서 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑(Mapping)시켜 균열 픽셀을 생성한다.

【0131】손상규모 측정부(134)는 상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정한다.

【0132】여기서, 상기 손상규모 측정부(134)는 상기 조적조 건축물(300)의 이미지만으로 실제 치장벽들의 길이를 참조 객체로 하여 상기 조적조 건축물(300)의 손상 길이를 정밀하게 누적 산정할 수 있다.

【0133】구체적으로 본 발명의 실시예에 따른 딥러닝의 학습결과로 만들어진 학습모델은 조적조 이미지를 입력 데이터로 사용하여 치장벽들과 모르타르를 분리한 이미지를 자동으로 출력한다.

【0134】이렇게 출력된 분리 이미지는 이진화가 진행된 이미지로서, 이후 이 이미지 분석 기법 중에서 BLOB(Binary Large Object) 해석을 진행함으로써 각각 치장벽들 한 개씩 인식할 수 있다.

【0135】여기서, BLOB 해석은 이진 인자의 연결된 픽셀 그룹을 활용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하는 기법을 말하며,

【0136】구체적으로, 회색 화상을 임의의 한계값을 기준으로 0과 1로 변환하는 것을 2치화 처라고 하는데, 통상적으로 흑(0)과 백(1)으로 처리하며, 이것으로 대상물에만 주목하여 다양한 해석을 하는 것이 가능해지며,

【0137】이러한 2치화 처리를 끝낸 화상을 분석하는 방법을 BLOB 해석이라고 한다.

【0138】예를 들면, 조적조 이미지 내에 참조 물체가 존재한다면,

【0139】 상기 참조 물체의 실제 크기를 입력한 후, 이를 픽셀의 수와 연관지어 '이미지내 픽셀수/실제 물체치수'라는 '픽셀 하나당 실제 치수' 함수를 생성할 수 있다. 이때, 이러한 '픽셀 하나당 실제 치수' 함수 활용에 있어서, 실제 물체치수 인자와 조적조 이미지내 픽셀수 인자를 따로 계산할 필요가 있다. 픽셀 하나당 실제 치수(*Pixel per Metric*)는 다음의 수학적 식 1과 같이 주어진다.

【0140】 [수학적 식 1]

$$\text{【0141】 } \text{Pixel per Metric} = \frac{\text{Object Width}}{\text{Know Width}}$$

【0142】 여기서, *Know Width*는 실제 물체치수를 나타내고, *Object Width*는 이미지내 픽셀수를 나타낸다.

【0143】 첫 번째로, '실제 물체치수'는 치장벽돌이 예전대 190x90x57mm의 표준규격으로 제작된다는 점에서 추출된 치장벽돌의 높이값인 57mm를 '실제 물체치수'의 고정값으로 활용할 수 있다.

【0144】 두 번째로, '이미지내 픽셀수' 인자 값은 조적조 이미지에서 추출된 균열(Crack)의 골격화 과정(Skeletonizing)을 거쳐 픽셀수를 산출할 수 있다.

【0145】 한편, 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템에서 지진 안전성 평가모듈의 구체적인 구성도이다.

【0146】도 11을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템의 지진 안전성 평가모듈(140)은, 이산요소 해석부(141), 학습데이터 세트 생성부(142) 및 지진 안전성 평가부(143)를 포함한다.

【0147】구체적으로, 아직까지 조적조 건축물과 관련된 신속한 손상평가를 위해 정확한 기준이 마련되어 있지 않은 실정으므로, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템(100)은,

【0148】조적조 건축물(300)의 손상평가와 관련하여 기준을 마련하고 정밀한 조적조 건축물(300)의 성능평가를 위한 이산요소해석 소프트웨어를 이용하여 학습데이터 세트를 설계 및 생성할 수 있다.

【0149】이러한 이산요소해석 모델링은 조적조 건축물(300)의 비선형 거동과 붕괴 메커니즘을 포착할 수 있는 능력을 갖고 있어 조적조 건축물(300)의 구조성능 데이터 생성을 위한 유효한 방법으로 사용될 수 있다.

【0150】본 발명의 실시예에서는 이산요소해석 상용 프로그램인 3DEC을 활용한다. 조적조 건축물의 파괴 유형에 영향을 줄 수 있는 핵심변수인 줄눈 배치, 모르타르 강도 및 형상비를 입력변수로 선정하고,

【0151】이에 따른 출력변수인 손상수준, 파괴유형별 강도·강성, 파괴유형별 연성도 저감 비율을 각각 산출하여 지진 안전성 평가를 위한 인공신경망 모델의 학습데이터 세트를 구성한다.

【0152】 이산요소 해석부(141)는 상기 입력변수들의 조합 설정하여 상기 조적조 이미지로부터 상기 조적조 건축물 모델을 형성한다.

【0153】 예를 들면, 상기 이산요소 해석부(141)는 상용 이산요소해석 프로그램인 3DEC을 이용하여 상기 조적조 건축물 모델을 형성할 수 있다.

【0154】 학습데이터 세트 생성부(142)는 상기 입력변수 변수에 따라 학습데이터 세트를 생성한다

【0155】 지진 안전성 평가부(143)는 상기 학습데이터 세트 생성부(142)에서 생성된 학습데이터 세트를 딥러닝-기반의 인공지능망 모델에 적용하여 지진 안전성을 평가한다.

【0156】 구체적으로, 상기 지진 안전성 평가부(143)의 딥러닝-기반의 인공지능망 모델은, 학습데이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진 지역 수평지진하중, 모르타르 수직강성 및 모르타르 전단강성을 입력인자로 하고, 최대 변위, 허용 층간변형률 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공지능망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력결과에 가장 유사한 값을 도출할 수 있다.

【0157】 이에 따라, 학습범위 내에서 사용자가 입력변수를 다양하게 입력하더라도, 신뢰도 높은 출력결과를 빠른 속도로 산출할 수 있다.

【0158】 결국, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템(100)에 따르면,

【0159】조적조 건축물의 균열 이미지 데이터를 기반으로 조적조 건축물의 균열 판단, 손상규모 및 보강안을 최종적으로 도출하는 통합 데이터엔진 시스템으로서, 별도의 컴퓨터 해석 없이 기계학습/딥러닝을 활용한 조적조 건축물에 대한 내진 성능 평가를 수행하며, 아직까지 내진성능 데이터가 부족한 조적조 건축물에 대해서 다양한 보강안을 제시할 수 있다.

【0160】또한, 이산요소해석을 바탕으로 조적조 건축물의 구조성능 데이터 및 이미지 데이터와 균열 판단 기법을 결합한 하이브리드 기술로서, 조적조의 균열 이미지만으로 조적조 건축물의 상태를 판정하고 보강안을 신속하고 정확하게 수립할 수 있다.

【0161】이를 통해 현재 대다수 조적조 건축물의 내진성능 관련 데이터가 부족한 상황에서 내진성능 데이터를 구축할 수 있고 신속 정확하게 내진 보강안 및 수리비용을 산정할 수 있다.

【0162】또한, 균열이 발생한 조적조 건축물의 신속하고 정확한 균열 판단 및 그 규모를 파악하여 객관적이고 타당한 보수 방안을 도출하여 조적조 건축물의 안전진단 과정에 드는 시간과 비용을 최소화하며, 조적조 건축물의 치장벽을 탈락에 의한 인명피해를 최소화할 수 있다.

【0163】또한, 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템으로서 소요시간, 비용 그리고 인력을 획기적으로 절감할 수 있으며, 조적조 건축물이 많이 적용된 학교시설 및 5층 이하 중저층 건물에서 활발하게 활용될 수 있다.

【0164】특히, 재난 발생 이전 피해규모 최소화를 위한 노후 건축물의 안전성 판단을 위한 지표로 활용할 수 있으며, 안전 여부를 신속하게 확인하고 보강의 우선순위를 결정할 수 있는 비구조재의 내진성능 평가 및 보강 관련 기능 의사결정 엔진으로도 활용할 수 있다.

【0165】[이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법]

【0166】도 12는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법을 나타내는 동작흐름도이다.

【0167】도 12를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법은, 먼저, 모바일앱-기반 카메라(200)를 사용하여 조적조 건축물(300)을 사진 촬영한다(S110).

【0168】다음으로, 이미지 데이터 수집부(110)가 상기 조적조 건축물(300)을 촬영한 이미지 데이터를 무선으로 수신한다(S120).

【0169】다음으로, 손상 탐지모듈(120)이 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 균열을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 탐지한다(S130).

【0170】구체적으로, 상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력 데이터로 설정하고, 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 손상분류 학습모델을 형성하여 균열 발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류하며, 조적조의 균열 이미지에 따른 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력한다.

【0171】 다음으로, 손상규모 측정모듈(130)이 조적조 이미지에 대해 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 손상규모를 측정한다(S140).

【0172】 구체적으로, 상기 조적조 이미지에 대해 치장벽돌(310)과 모르타르(320)의 경계를 분리하는 이진화를 위해 이미지 임계처리를 수행하고, 픽셀 그룹을 활용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성하며, 상기 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑시켜 균열 픽셀을 생성하고, 상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정한다.

【0173】 다음으로, 상기 조적조 건축물(300)의 내진성능을 확인하도록 입출력 변수를 설정한다(S150).

【0174】 다음으로, 상기 조적조 건축물(300)에 대한 손상 유무 및 유형, 손상규모, 입출력 변수에 따라 학습데이터 세트를 생성한다(S160).

【0175】 다음으로, 상기 학습데이터 세트가 적용되는 딥러닝-기반의 인공지능 경망 모델에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 지진 안전성을 평가한다(S170).

【0176】 다음으로, 상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성에 따른 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공한다(S180).

【0177】 이때, 사용자가 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여 상기 조적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과를 출력한다.

【0175】 다음으로, 상기 조적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과에 대응하는 보강안을 수립하여 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정한다(S190).

【0179】 한편, 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 이미지-기반 조적조 손상 탐지 및 손상규모 측정 과정을 구체적으로 나타내는 동작흐름도이다.

【0180】 도 13을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 이미지-기반 조적조 손상 탐지 및 손상규모 측정 과정은, 먼저, 손상 탐지를 위해 조적조 건축물을 촬영하여 조적조 이미지를 입력하고(S201), 이후, 상기 조적조 이미지 내 균열(Crack)을 검출하며(S202), 이후, 검출된 균열 이미지를 출력한다(S203).

【0181】 다음으로, 손상규모 측정을 위해 상기 조적조 이미지의 균열부를 추출(Crop)하고(S204), 추출 이미지가 치장벽들 내 위치하는지 확인한다(S205).

【0182】 다음으로, 상기 추출 이미지가 치장벽들 내 위치하지 않는 경우, 균열 세그먼테이션을 처리하고(S206), 이후, 균열 골격화(Skeletonizing)를 처리하며(S207), 이후, 균열 길이를 산정한다(S208).

【0183】 다음으로, 상기 추출 이미지가 치장벽들 내 위치하는 경우, 치장벽들을 검출하고(S209), 이후, 검출된 치장벽들의 균열 길이의 실제 치수를 산정한다(S210).

【0184】 다음으로, 마지막으로 검출된 균열인지 확인하고(S211), 마지막으로 검출된 균열이 아닌 경우, 전술한 S205 단계 내지 S210 단계를 반복하여 수행한다.

【0185】 다음으로, 마지막으로 검출된 균열인 경우, 균열 길이를 누산하고(S212), 전체 균열길이에 따른 손상규모를 출력한다(S213).

【0186】 한편, 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 균열 유형을 예시하는 사진이고, 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 손상정보로 출력되는 손상 유무를 설명하기 위한 도면이다.

【0187】 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서,

【0188】 손상 탐지를 위한 임계데이터 설정시, 상기 조적조 이미지의 균열 양상을 수직균열, 수평균열, 대각균열 또는 벽돌균열로 분류하여

【0189】 상기 손상 분류부(122)의 입력변수로 설정하고, 상기 손상분류 학습 모델의 학습데이터를 구성할 수 있다.

【0190】 여기서, 도 14의 a)는 대각균열을 나타내며, 도 14의 b)는 수평균열을 나타내고, 도 14의 c)는 벽돌균열을 나타낸다.

【0191】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서, 손상 탐지에 따른 손상정보로서,

【0192】 도 15에 도시된 바와 같이, 조적조 이미지 내에 균열이 포함된 손상 정보를 출력할 수 있다.

【0193】 즉, 도 15의 a)에 도시된 조적조 이미지 내의 균열에 따라 도 15의 b)에 도시된 바와 같이 균열이 포함된 손상정보를 출력할 수 있다.

【0194】 한편, 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 조적조 이미지내 그리드 생성을 설명하기 위한 도면이다.

【0195】 도 16의 a)는 원본 조적조 이미지를 나타내며,

【0196】 도 16의 b)는 이미지 임계처리를 통해 이진화 처리한 이미지를 나타내며,

【0197】 도 16의 c)는 이미지 분석 과정으로서, 이진화 처리된 조적조 이미지에 대해 캐니(Canny) 엣지를 검출하는 것을 나타내며,

【0198】 도 16의 d)는 이미지 분석 과정으로서, 캐니 엣지 검출 이후 조적조 이미지에 대해 BLOB(Binary Large Object)를 검출하는 것을 나타낸다.

【0199】 여기서, 캐니(Canny)는 엣지(Edge)를 검출하는 함수 중 하나로서, 방향성을 기준으로 외곽선 정보를 찾아내는 것을 말한다.

【0200】 한편, 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 픽셀 단위의 손상규모 측정을 설명하기 위한 도면이다.

【0201】 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서,

【0202】 도 17의 a)는 손상규모 측정을 위해 탐지된 균열을 매핑시켜 조적조가 손상된 것을 확인하는 것을 구체적으로 나타내고,

【0203】 도 17의 b)는 탐지 균열 매핑에 대응하여 균열 픽셀에 m 당 픽셀 길이를 곱함으로써 픽셀 단위의 손상규모를 측정할 수 있는 것을 나타낸다.

【0204】 한편, 도 18a 내지 도 18c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 입력변수의 모델링을 예시하는 도면이다.

【0205】 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서, 지진 안전성 평가를 위한 입력변수 모델링시, 조적조 형상비와 연결철물 위치를 입력변수로 하는 모델링을 수행한 것을 나타내며,

【0206】 예를 들면, 도 18a는 조적조 형상비가 $1.0(=2000/2000)$ 인 경우를 나타내며, 도 18b는 조적조 형상비가 $1.3(=2000/1500)$ 인 경우를 나타내며, 도 18c는 조적조 형상비가 $2.0(=2000/1000)$ 인 경우를 각각 나타낸다.

【0207】 한편, 도 19는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트의 생성을 구체적으로 설명하기 위한 동작흐름도이다.

【0208】도 19를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트의 생성 과정은, 먼저, 조적조 건축물(300)의 손상평가 관련 문헌 조사 및 분석을 통해 입력변수 및 출력변수를 설정한다(S161).

【0209】다음으로, 상기 입력변수들의 조합 설정을 위해 이산요소해석을 수행하여 조적조 건축물 모델을 형성한다(S162),

【0210】예를 들면, 상용 이산요소해석 프로그램인 3DEC을 이용하여 이산요소해석을 수행하여 조적조 건축물 모델을 형성할 수 있다.

【0211】다음으로, 단순화된 조적조 실험체로 변수를 입력하고 해석결과를 비교한다(S163).

【0212】이때, 다양한 지진하중과 모르타르의 강성값, 연결철물 유무 등의 입력파라미터를 적용한 조적조 건축물 모델에 대한 응답을 생성하게 된다.

【0213】다음으로, 입력변수 조합을 적용한 입력변수의 변화를 통해 출력값을 도출한다(S164).

【0214】다음으로, 내진성능 프로파일과 다양한 지진 시나리오가 고려된 일련의 학습데이터 세트를 생성한다(S165).

【0215】예를 들면, 상기 학습데이터 세트는 역량스펙트럼법(Capacity Spectrum Method: CSM)을 이용하여 도출되는 출력값에 따라 구축될 수 있다.

【0216】여기서, 역량스펙트럼법(CSM)은 성능기반(Performance-based) 지진 분석 기술로서, 지진에 의해 요구되는 성능(Demand Spectrum)과 구조물의 성능(Capacity Spectrum)을 비교하여 성능점을 산정하고, 성능점에서의 구조물의 상태를 평가하는 방식이다.

【0217】한편, 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서 입력변수를 조합 설정하는 것을 예시하는 도면이다.

【0218】본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서, 도 20에 도시된 바와 같이, 입력변수 조합을 적용한 입력변수의 변화를 통해 출력값을 도출할 수 있다.

【0219】한편, 도 21a 내지 도 21c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서 단순화된 조적조 실험체로 변수입력 및 해석결과를 비교하는 것을 나타내는 도면이다.

【0220】본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성 과정에서, 도 21a는 단순화된 조적조 실험체를 나타내며,

【0221】도 21b는 상용 이산요소해석 프로그램인 3DEC을 통해 이산요소해석을 수행하는 것을 나타내며,

【0222】또한, 도 21c는 해석결과에 따라 형성되는 조적조 건축물 모델을 나타낸다.

【0223】한편, 도 22a 내지 도 22c는 각각 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값을 도출하는 것을 예시하는 도면이고,

【0224】도 23은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값에 따라 학습데이터 세트를 구축하는 것을 예시하는 도면이다.

【0225】본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법의 경우,

【0226】도 22a 내지 도 22c에 도시된 바와 같이, 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값을 도출할 수 있고,

【0227】또한, 도 23에 도시된 바와 같이, 역량스펙트럼법(CSM)을 이용한 다양한 출력값에 따라 학습데이터 세트를 구축할 수 있다.

【0228】한편, 기계학습(Machine Learning) 또는 딥러닝(Deep Learning)으로 대표되는 오늘날의 인공지능(Artificial Intelligence: AI) 기술은 그 개발자들까지도 온전히 이해하기 쉽지 않을 만큼 복잡하고 규모가 큰 모델을 생성하는 특징을

지닌다.

【0229】여기서, 딥러닝은 인공신경망(Artificial Neural Network: ANN)의 한 형태로서, 이러한 인공신경망은 마치 인간의 개별 뉴런과도 같은 퍼셉트론(Perceptron)을 컴퓨터상에서 논리적으로 구현하여, 그 복잡한 연결을 통해 인공지능을 구현하고자 하는 시도이다.

【0230】이러한 인공신경망은 일반적으로 입력층, 은닉층 및 출력층으로 이루어지며, 개별 층마다 퍼셉트론의 개수 및 그 연결 구조는 사용자가 구성할 수 있다.

【0231】이때, 은닉층의 개수 또한 사용자가 임의로 늘려나갈 수 있으며, 일반적으로 신경망의 층이 3층 이상이 될 때를 심층 신경망(Deep Neural Network: DNN)이라고 부른다. 다시 말하면, 딥러닝은 이러한 심층신경망에서 퍼셉트론 간의 연결강도로 주어지는 파라미터들을 데이터에 기반하여 학습시키는 과정이라고 할 수 있다.

【0232】도 24는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 인공신경망 모델을 나타내는 도면이다.

【0233】본 발명의 실시예에 따른 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법에서 지진 안전성 평가를 위한 딥러닝-기반의 인공신경망 모델은, 도 24에 도시된 바와 같이, 입력층, 은닉층 및 출력층을 포함하며, 예를 들면, 학습데이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진지역

수평지진하중, 모르타르 수직강성 및 모르타르 전단강성을 입력인자로 하고,

【0234】 최대 변위, 허용 층간변형률 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공 신경망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력 결과에 가장 유사한 값을 도출하게 된다.

【0235】 결국, 본 발명의 실시예에 따르면, 객관성이 부족했던 종래의 조적조 건축물의 구조 안전성 평가에 비해 획기적으로 시간 단축이 가능하고 객관적으로 접근할 수 있는 알고리즘으로 구성된다.

【0236】 또한, 조적조 건축물의 구조적 성능 해석이 가능한 이산요소해석을 활용하여 정밀도와 신뢰도가 높은 지진 안전성 자동평가 모델을 구축함으로써, 신뢰성이 높은 데이터베이스를 구축하고, 웹 및 모바일앱과 용이하게 연동시킬 수 있다.

【0237】 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 기존 조적조 건축물에 대한 손상 수준 파악 및 보강안을 신속하게 파악할 수 있기 때문에 지진안전 건축물 사전대응 시스템으로 활용할 수 있으며, 이를 바탕으로 재난에 의한 인명 및 재산 피해를 최소화할 수 있다.

【0238】 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 조적조 건축물의 이미지 데이터를 입력 데이터로 하기 때문에, 지진 안전성 평가에 있어서 누구나 이용하기 쉬우며, 시간 소요가 적다는 강점이 있으며, 또한, 장기적인 측면에서 재난대비 조적조 건축물의 유지관리 기술로 활용할 수 있으며, 재난 발생 직후에 즉시 대응 용도로 활용할 수 있다.

【0239】 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 종래의 기술에 따른 복잡하고 시간이 많이 소요되는 조적조 건축물의 구조 안전성 평가 과정에 비해서 획기적으로 단순하고, 정밀도 또한 높은 하이브리드 기술로서,

【0240】 기존 개발된 플랫폼 또는 개발중인 플랫폼에 탑재가 용이하므로, 광역단위의 내진성능을 평가할 수 있거나, 또는, 보급형 기술로서 거주자가 간단한 정보 입력만으로 조적조 건축물의 내진성능을 파악하는데 활용할 수 있다.

【0241】 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

【0242】 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

【부호의 설명】

【0243】 100: 하이브리드 손상평가 시스템

110: 이미지 데이터 수집부

120: 손상 탐지모듈

121: 입력데이터 설정부

122: 손상 분류부

123: 손상정보 출력부

130: 손상규모 측정모듈

131: 이미지 임계처리부

132: 이미지 분석부

133: 균열 매핑부

134: 손상규모 측정부

140: 지진 안전성 평가모듈

141: 이산요소 해석부

142: 학습데이터 세트 생성부

143: 지진 안전성 평가부

150: 입출력 변수 설정부

160: 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부

170: 보강안 및 수리비용 산정부

200: 모바일앱-기반 카메라

200a: 스마트폰

200b: 드론

300: 조적조 건축물

310: 치장벽돌

320: 모르타르

330: 연결철물

【청구범위】

【청구항 1】

사용자가 모바일앱-기반 카메라(200)를 사용하여 조적조 건축물(300)을 촬영하여 획득한 이미지 데이터를 수집하는 이미지 데이터 수집부(110);

상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집한 이미지 데이터를 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 균열(Crack)을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 손상정보로 출력하는 손상 탐지모듈(120);

상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집한 이미지 데이터를 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 픽셀-기반의 손상규모를 측정하는 손상규모 측정모듈(130);

지진 안전성 평가를 위한 학습데이터 세트 생성을 위한 입력변수 및 출력변수를 설정하는 입출력 변수 설정부(150);

상기 입출력 변수에 따른 학습데이터 세트를 생성하고, 딥러닝-기반의 인공신경망 모델에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 지진 안전성을 평가하는 지진 안전성 평가모듈(140); 및

상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성 평가결과를 결합한 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공하는 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부(160)를 포함하되,

상기 하이브리드 손상수준 평가결과 제공부(160)는 사용자가 상기 조적조 건

축물(300)에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여 상기 조적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과를 출력하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 하이브리드 손상수준 평가결과에 따라 보강안을 수립하고, 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정하는 보강안 및 수리비용 산정부(170)를 추가로 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 모바일앱-기반 카메라(200)는 스마트폰(200a)에 내장되거나 또는 드론(200b)에 탑재되며, 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 획득하여 상기 이미지 데이터 수집부(110)에게 무선으로 전송하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 4】

제1항에 있어서, 상기 손상 탐지모듈(120)은,

상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력데이터로 설정하는 입력데이터 설정부(121);

이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따른 손상분류 학습모델을 구성하여 균열

발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류하는 손상 분류부(122); 및

상기 조적조 건축물(300)에 대한 균열 이미지에 따른 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력하는 손상정보 출력부(123)를 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 5】

제4항에 있어서,

상기 입력데이터 설정부(121)는 상기 조적조 이미지의 균열 양상을 수직균열, 수평균열, 대각균열 또는 벽돌균열로 분류하여 상기 손상 분류부(122)의 입력변수로 설정하고, 상기 손상분류 학습모델의 학습데이터를 구성하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템,

【청구항 6】

제5항에 있어서,

상기 손상분류 학습모델은 인간의 시각처리를 모방한 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network: CNN) 모델로서 ResNet(Residual Network) 알고리즘에 따라 구현되는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 7】

제1항에 있어서, 상기 손상규모 측정모듈(130)은,

상기 이미지 데이터 수집부(110)에서 수집되는 조적조 이미지에 대해 치장벽

들(310)과 모르타르(320)의 경계를 분리하는 이진화를 위해서 이미지 임계처리 (Image Thresholding)를 수행하는 이미지 임계처리부(131);

픽셀 그룹을 활용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성하는 이미지 분석부(132);

상기 이미지 분석부(132)에서 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑 (Mapping)시켜 균열 픽셀을 생성하는 균열 매핑부(133); 및

상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정하는 손상규모 측정부(134)를 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 8】

제7항에 있어서,

상기 이미지 분석부(132)는 이미지 분석 기법인 BLOB(Binary Large Object) 해석을 진행하여 치장벽들 한 개씩 인식하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 9】

제7항에 있어서,

상기 손상규모 측정부(134)는 상기 조적조 건축물(300)의 이미지만으로 실제 치장벽들의 길이를 참조 객체로 하여 상기 조적조 건축물(300)의 손상 길이를 경멸하게 누적 산정하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의

하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 10】

제1항에 있어서, 상기 지진 안전성 평가모듈(140)은,

상기 입력변수들의 조합 설정하여 상기 조적조 이미지로부터 상기 조적조 건축물 모델을 형성하는 이산요소 해석부(141);

상기 입력변수들에 따라 학습데이터 세트를 생성하는 학습데이터 세트 생성부(142); 및

상기 학습데이터 세트 생성부(142)에서 생성된 학습데이터 세트를 딥러닝-기반의 인공신경망 모델에 적용하여 지진 안전성을 평가하는 지진 안전성 평가부(143)를 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 11】

제10항에 있어서,

상기 이산요소 해석부(141)는 상용 이산요소해석 프로그램인 3DEC을 이용하여 상기 조적조 건축물 모델을 형성하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 12】

제10항에 있어서,

상기 지진 안전성 평가부(143)의 딥러닝-기반의 인공신경망 모델은, 학습대

이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진지역 수평지진하중, 모르타르 수직강성 및 모르타르 전단강성을 입력인자로 하고, 최대 변위, 허용 층간 변형을 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공지능망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력결과에 가장 유사한 값을 도출하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템.

【청구항 13】

a) 모바일앱-기반 카메라(200)를 사용하여 조적조 건축물(300)을 사진 촬영하는 단계;

b) 이미지 데이터 수집부(110)가 상기 조적조 건축물(300)을 촬영한 이미지 데이터를 무선으로 수신하는 단계;

c) 손상 탐지모듈(120)이 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 균열을 탐지하여 손상 유무 및 유형을 탐지하는 단계;

d) 손상규모 측정모듈(130)이 조적조 이미지에 대해 픽셀-기반 손상규모 측정 알고리즘에 따라 손상규모를 측정하는 단계;

e) 상기 조적조 건축물(300)의 내진성능을 확인하도록 입출력 변수를 설정하는 단계;

f) 상기 조적조 건축물(300)에 대한 손상 유무 및 유형, 손상규모, 입출력 변수에 따라 학습데이터 세트를 생성하는 단계;

g) 상기 학습데이터 세트가 적용되는 딥러닝-기반의 인공지능경망 모델에 따라 상기 조적조 건축물(300)의 지진 안전성을 평가하는 단계; 및

h) 상기 손상 유무 및 유형, 상기 손상규모 및 상기 지진 안전성에 따른 하이브리드 손상수준 평가결과를 제공하는 단계를 포함하되,

상기 h) 단계에서 사용자가 상기 조적조 건축물(300)에 대한 조적조 이미지를 입력하는 것에 대응하여 상기 조적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과를 출력하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법.

【청구항 14】

제13항에 있어서,

i) 상기 조적조 건축물(300)의 하이브리드 손상수준 평가결과에 대응하는 보강안을 수립하여 상기 보강안에 따른 수리비용을 산정하는 단계를 추가로 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법,

【청구항 15】

제13항에 있어서,

상기 c) 단계에서 상기 조적조 이미지로부터 균열 이미지를 추출하여 입력 데이터로 설정하고, 이미지-기반 손상 탐지 알고리즘에 따라 손상분류 학습모델을 형성하여 균열 발생 유무를 판단하고 균열 유형을 분류하며, 조적조의 균열 이미지에 따른 균열 발생 유무 및 균열 유형을 손상정보로 출력하는 것을 특징으로 하는

이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법.

【청구항 16】

제13항에 있어서,

상기 d) 단계에서 조적조 이미지에 대해 치장벽돌(310)과 모르타르(320)의 경계를 분리하는 이진화를 위해 이미지 임계처리를 수행하고, 픽셀 그룹을 판용하여 특정 크기 이상의 객체를 검출하도록 이미지 분석 기법에 따라 조적조 그리드를 생성하며, 상기 생성된 조적조 그리드와 탐지된 균열을 매핑시켜 균열 픽셀을 생성하고, 상기 균열 픽셀과 기설정된 픽셀 길이를 누산하여 픽셀-기반 손상규모를 측정하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법.

【청구항 17】

제13항에 있어서, 상기 f) 단계는,

f-1) 상기 조적조 건축물(300)의 손상평가 관련 문헌 조사 및 분석을 통한 입출력 변수를 설정하는 단계;

f-2) 이산요소해석 프로그램을 이용하여 조적조 건축물 모델을 형성하는 단계;

f-3) 지진하중, 모르타르의 강성값 및 연결철물 유무의 입력변수를 적용한 조적조 건축물 모델에 대한 응답을 생성하는 단계; 및

f-4) 상기 입출력 변수의 변화를 통해 출력값을 도출하는 단계; 및

f-5) 내진성능 프로파일과 지진 시나리오가 고려된 입출력 학습데이터 세트를 생성하는 단계를 포함하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법.

【청구항 18】

제13항에 있어서,

상기 g) 단계의 딥러닝-기반의 인공지능망 모델은, 학습데이터 세트에 따라 수평연결철물 간격, 수직연결철물 간격, 지진지역 수평지진하중, 모트타트 수직강성 및 모트타트 전단강성을 입력인자로 하고, 최대 변위, 허용 층간변형률 및 성능 수준을 출력인자로 하여 인공지능망 기법을 통해 학습한 후, 상기 입력인자에 대한 출력결과가 머신 러닝의 출력결과에 가장 유사한 값을 도출하는 것을 특징으로 하는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 방법.

【요약서】

【요약】

조적조 건축물의 균열 이미지 데이터를 기반으로 조적조 건축물의 균열 판단, 손상규모 및 보강안을 최종적으로 도출하는 통합 데이터엔진 시스템으로서, 별도의 컴퓨터 해석 없이 기계학습/딥러닝을 활용한 조적조 건축물에 대한 내진성능 평가를 수행할 수 있고, 또한, 이산요소해석을 바탕으로 조적조 건축물의 구조성능 데이터 및 이미지 데이터의 균열 판단 기법을 결합한 하이브리드 기술로서, 조적조의 균열 이미지만으로 조적조 건축물의 상태를 판정하고 보강안을 신속하고 정확하게 수립할 수 있는 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법이 제공된다.

【대표도】

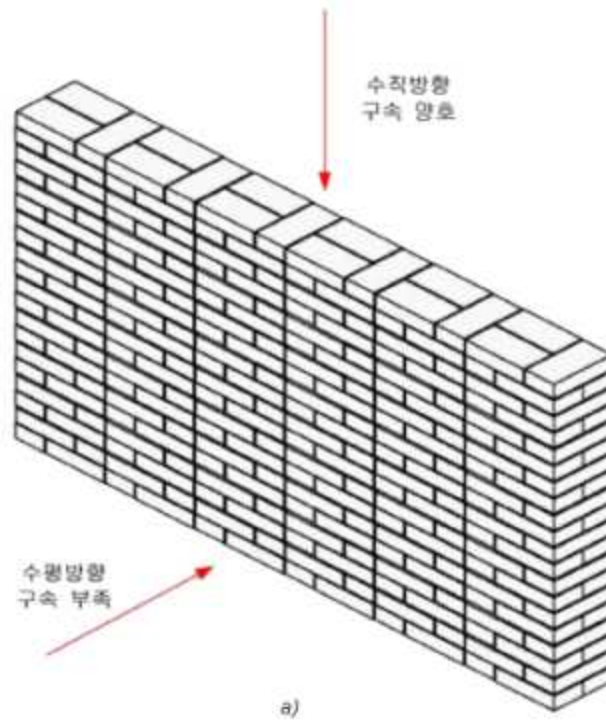
도 6

2021-10-19

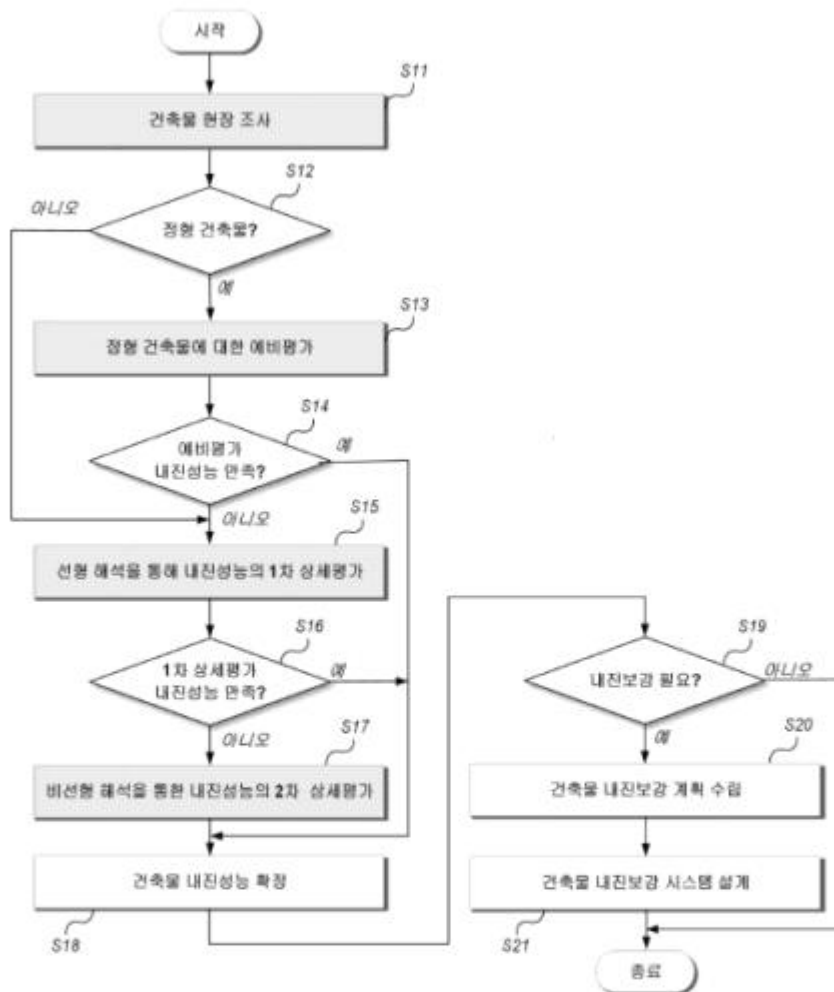
【도면】

【도 1】

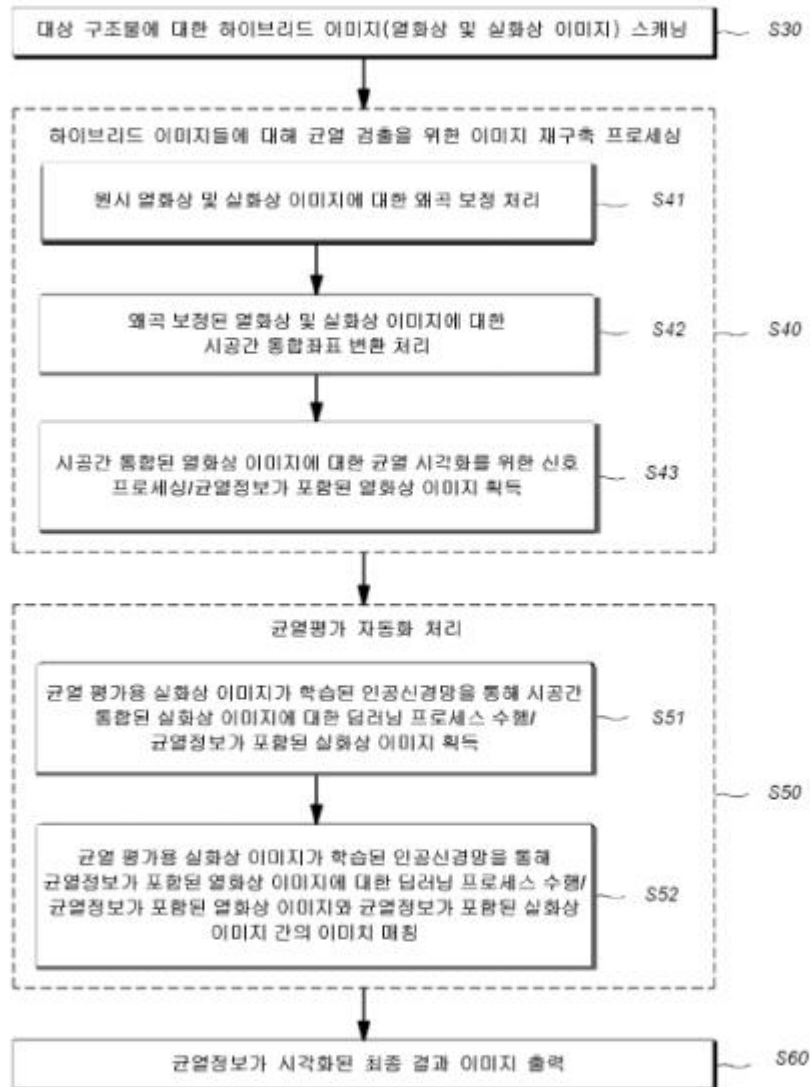
90-62



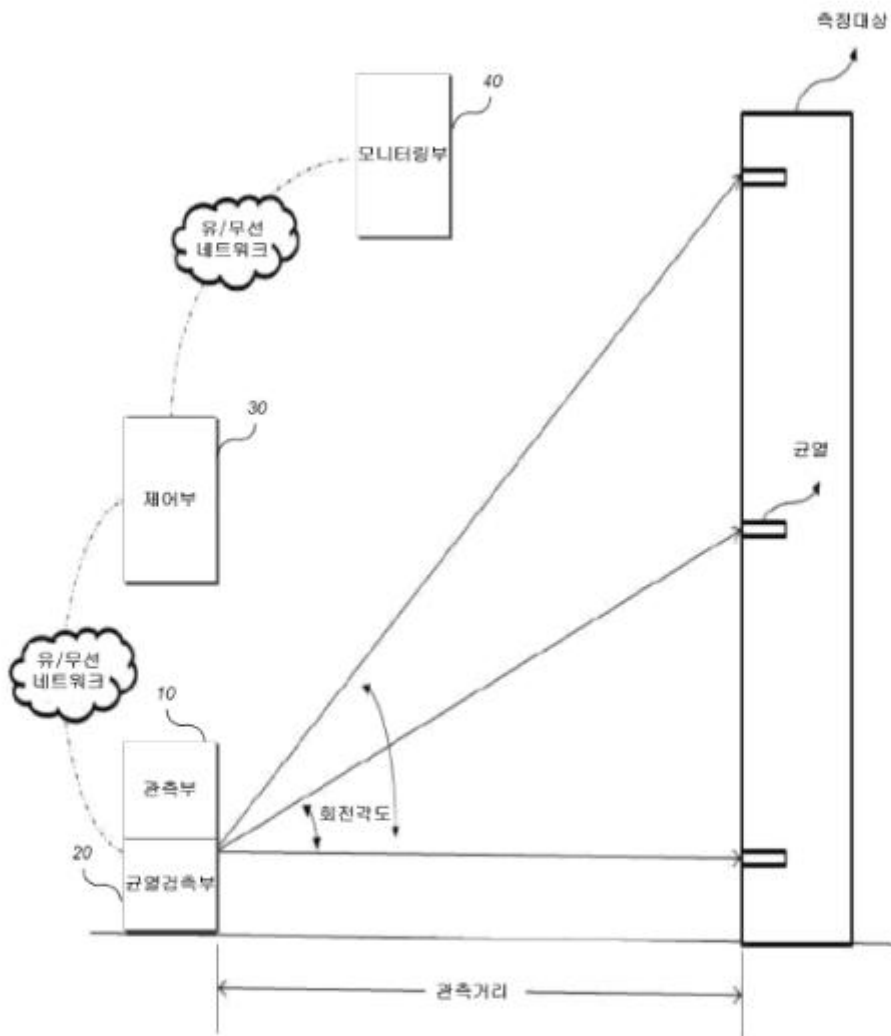
【도 2】



【도 3】



【도 4】

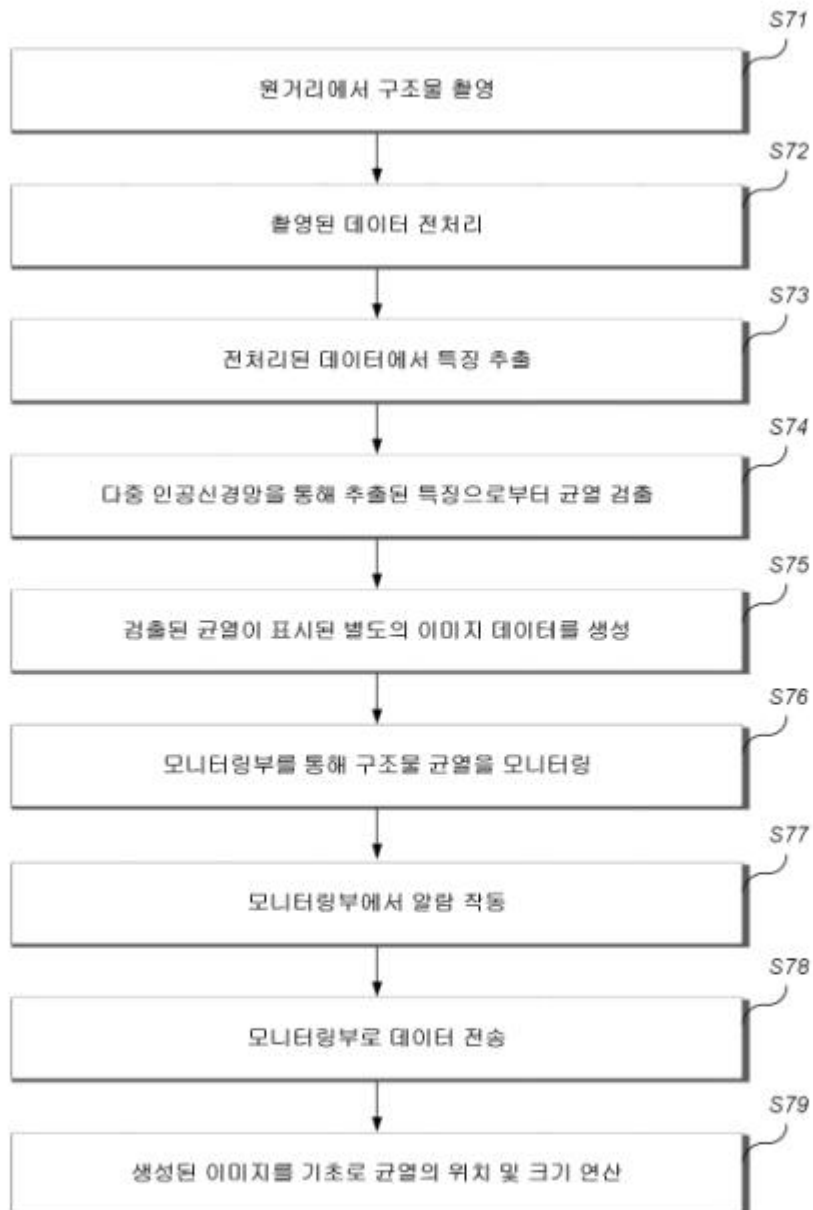


90-66

2021-10-19

【도 5】

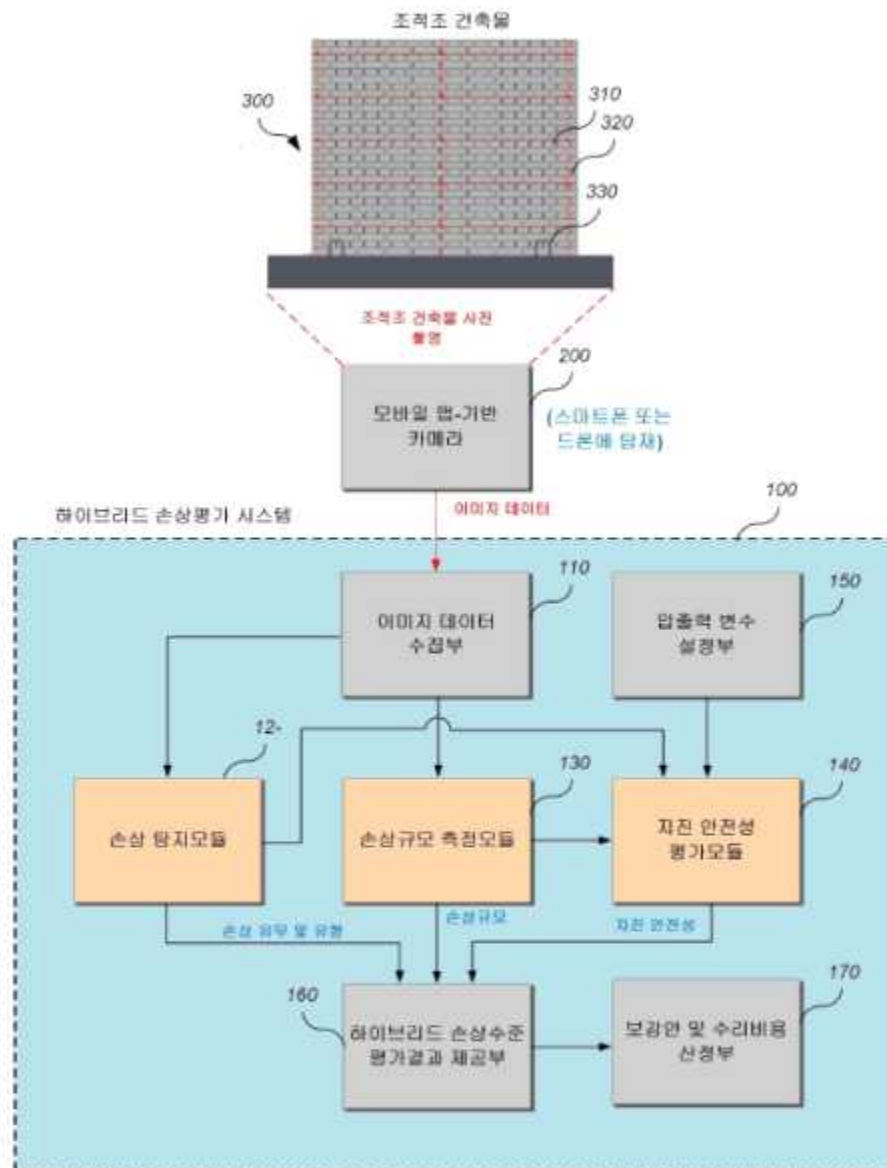
90-67



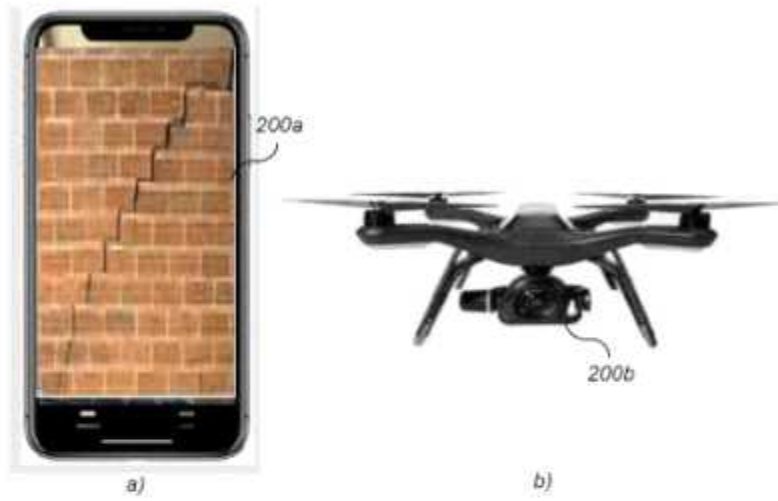
2021-10-19

【도 6】

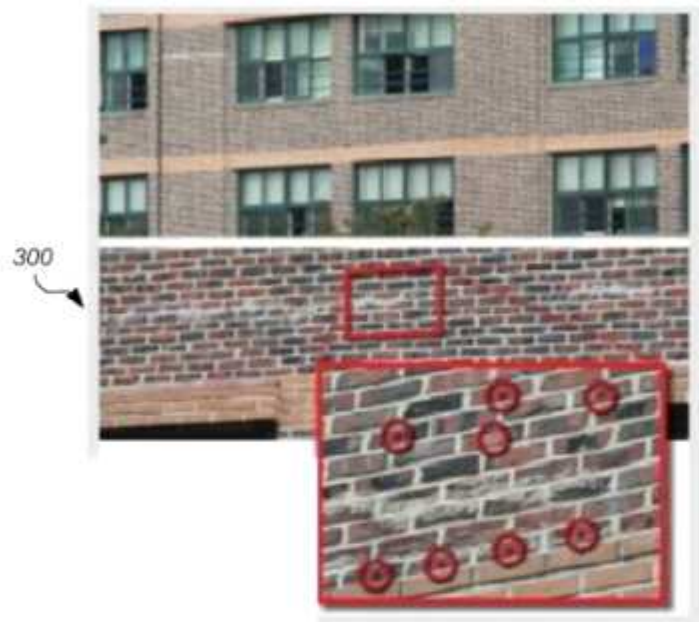
90-69



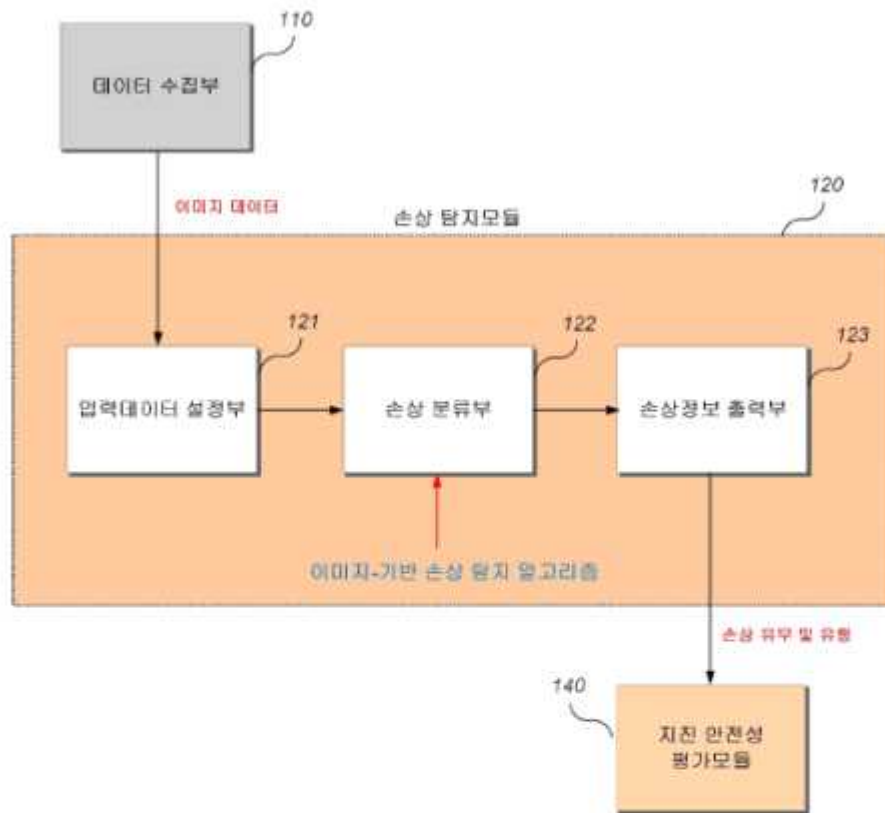
【도 7】



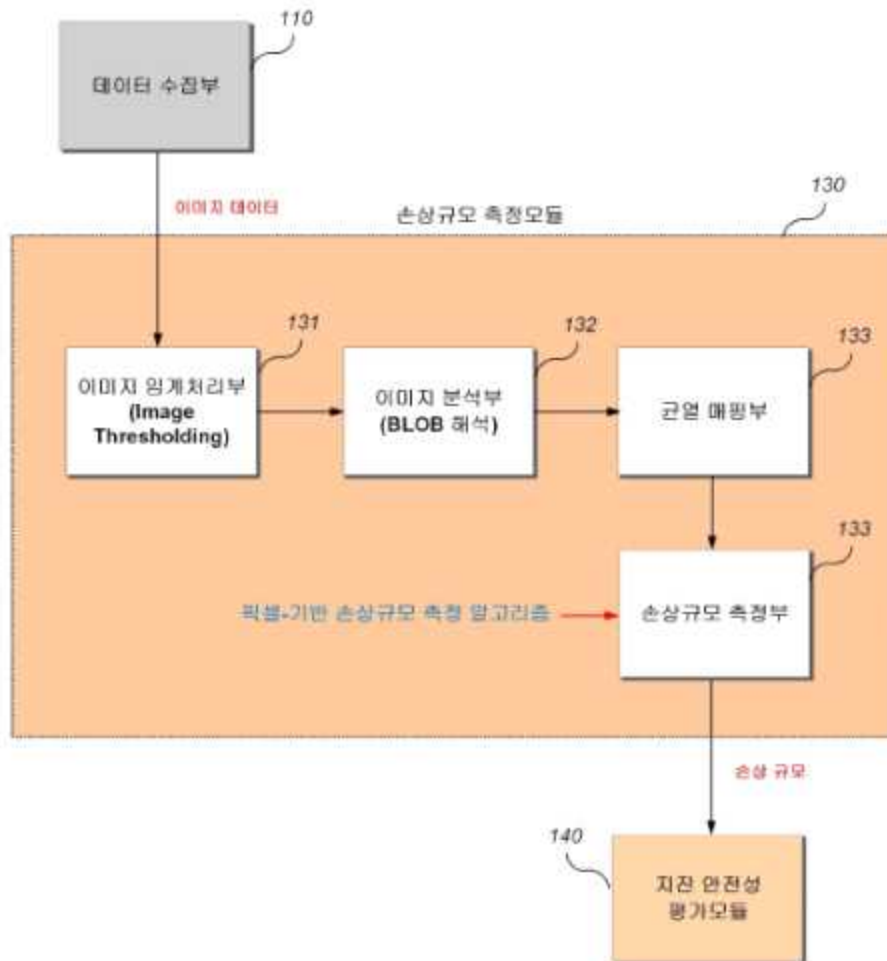
【도 8】



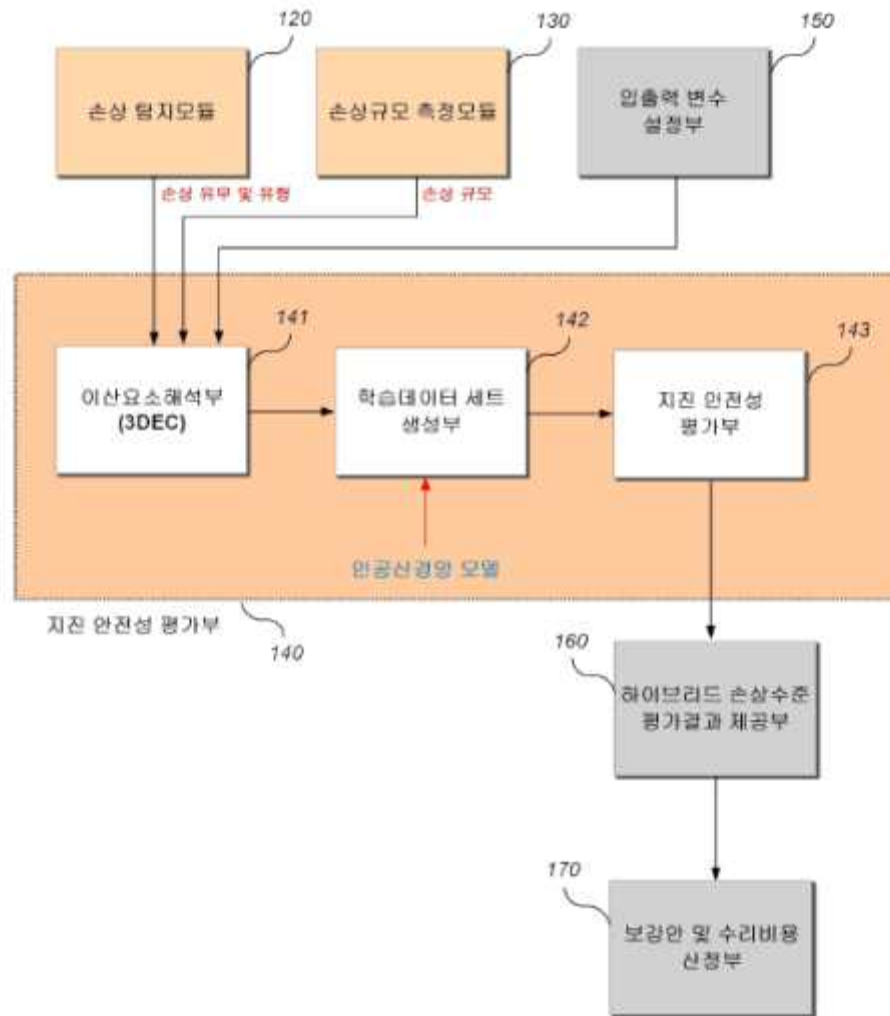
【도 9】



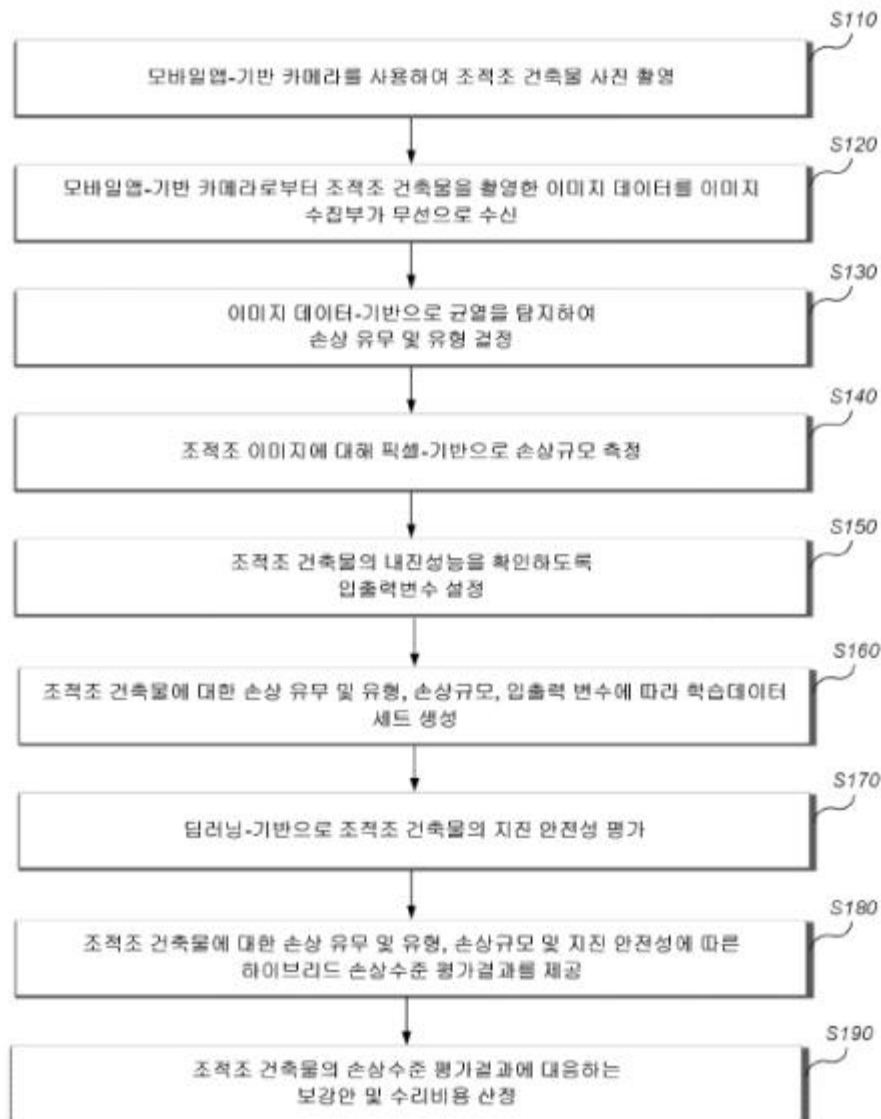
【도 10】



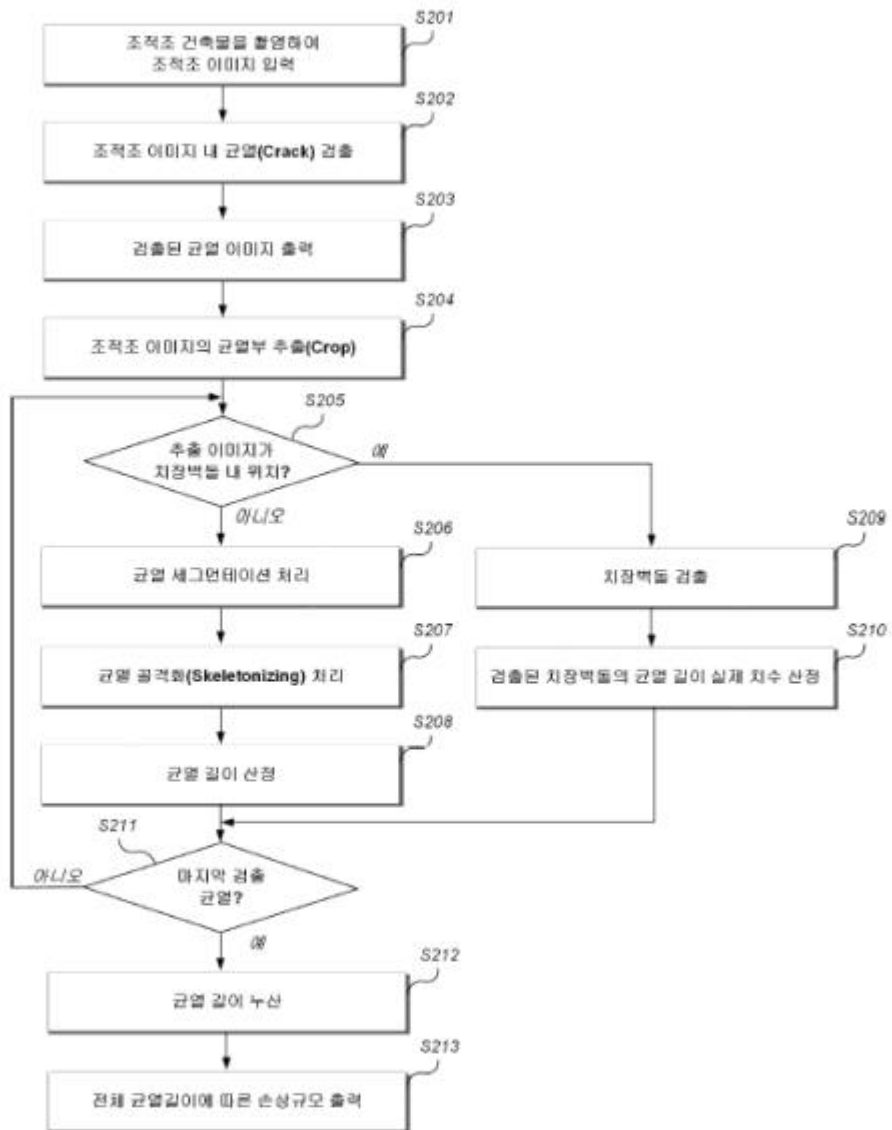
【도 11】



【도 12】



【도 13】



2021-10-19

【도 14】

90-78

2021-10-19

a)



b)

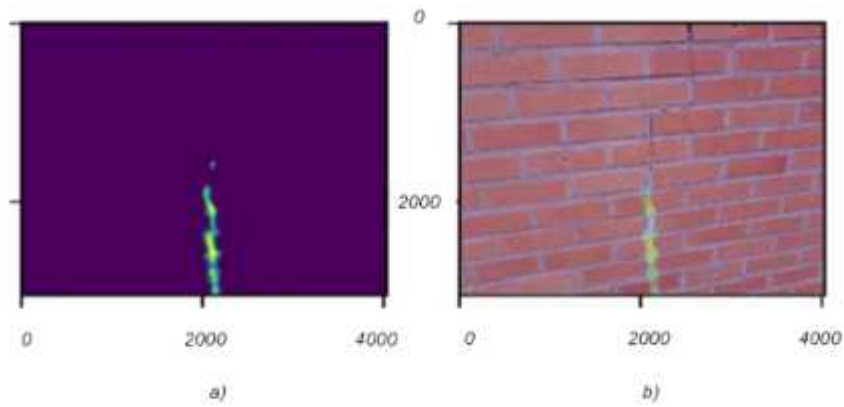


c)

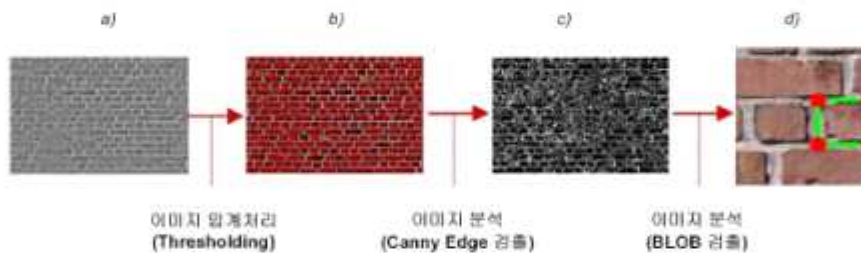


90-79

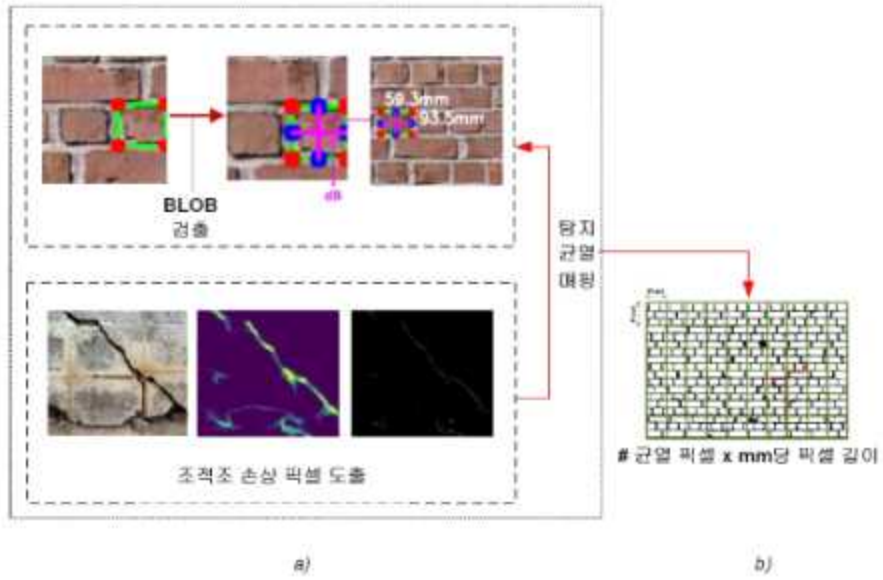
【도 15】



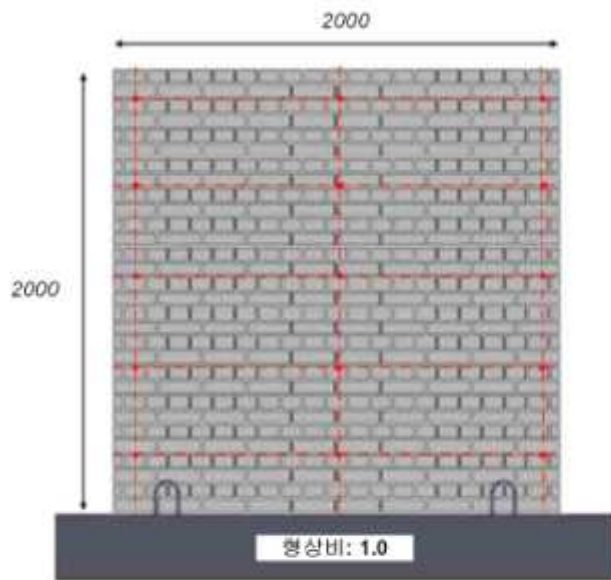
【도 16】



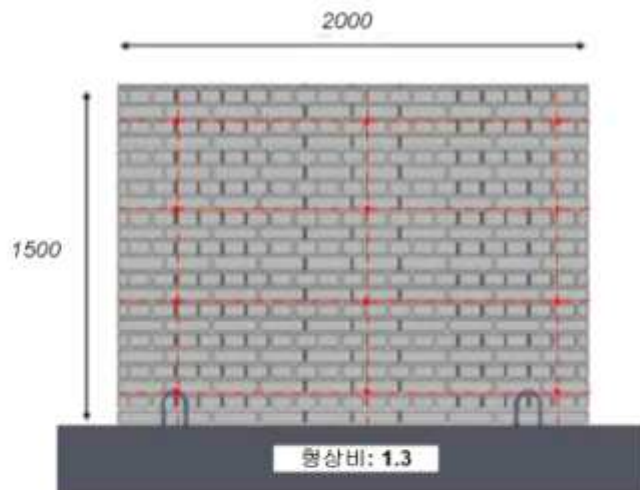
【도 17】



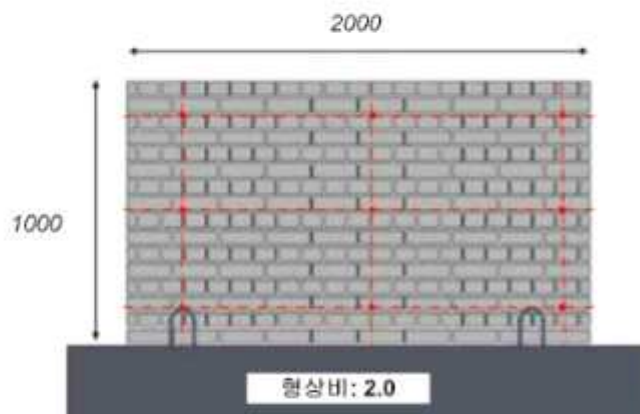
【도 18a】



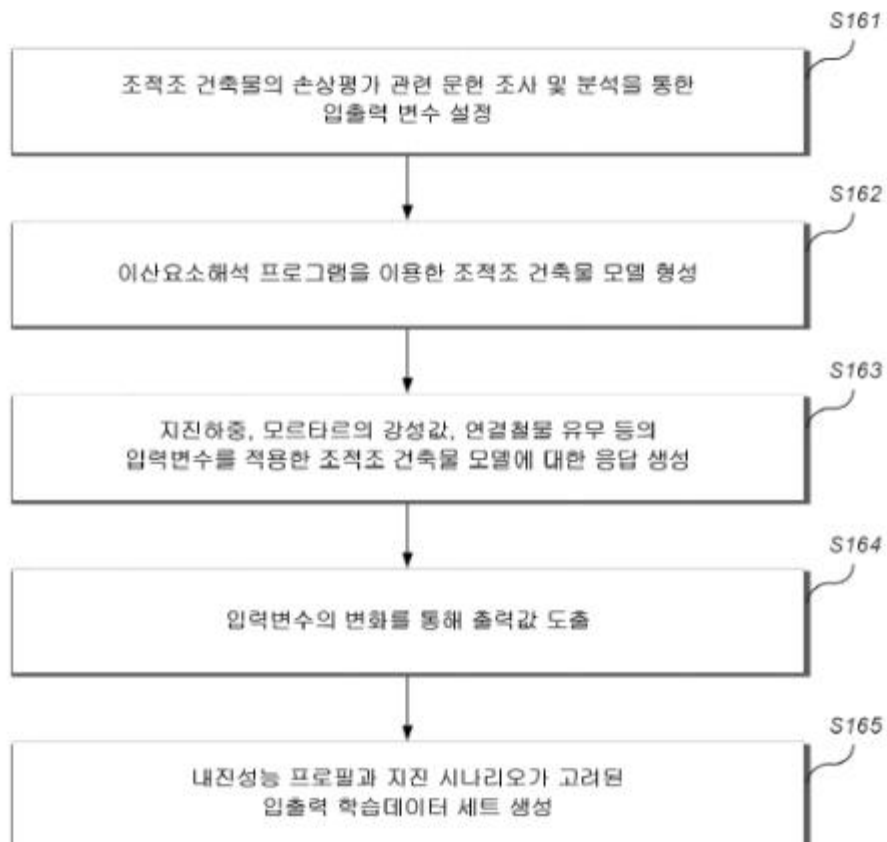
【도 18b】



【도 18c】



【도 19】

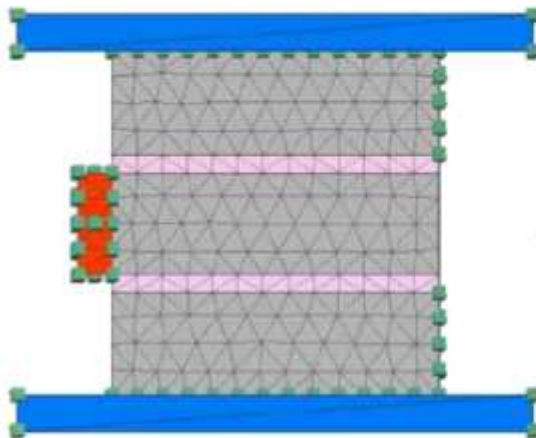


【도 20】

일련번호 조합 설정

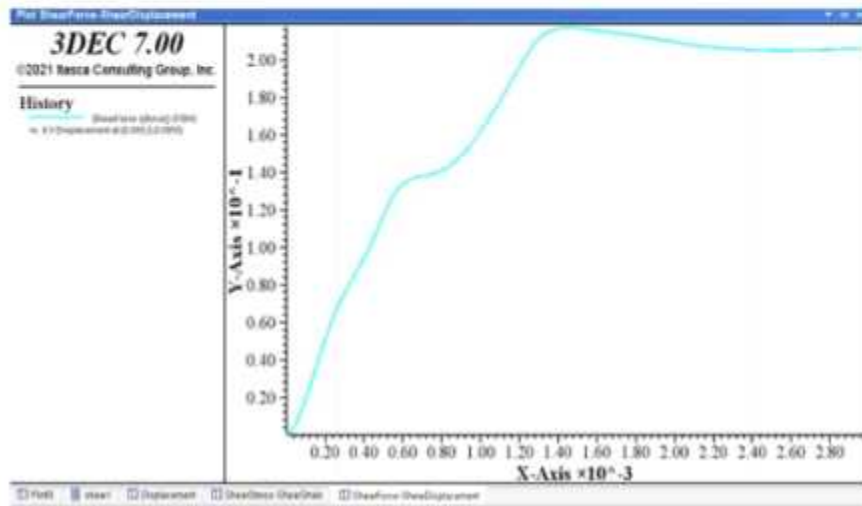
[illegible]

【도 21a】

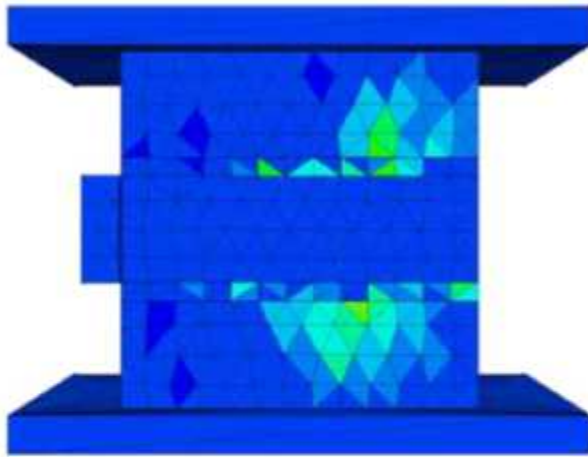


【도 21b】

미션요소해석 프로그램 (3DEC)



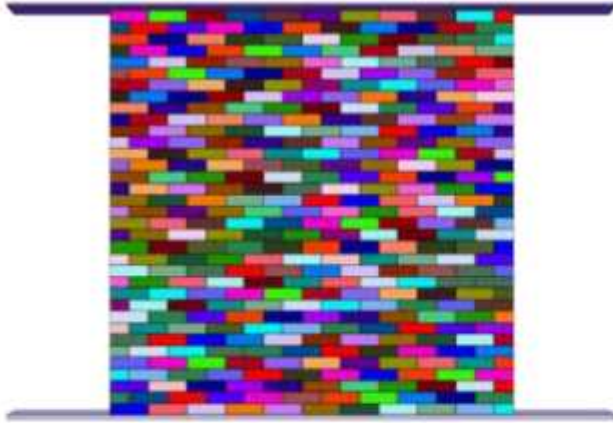
【도 21c】



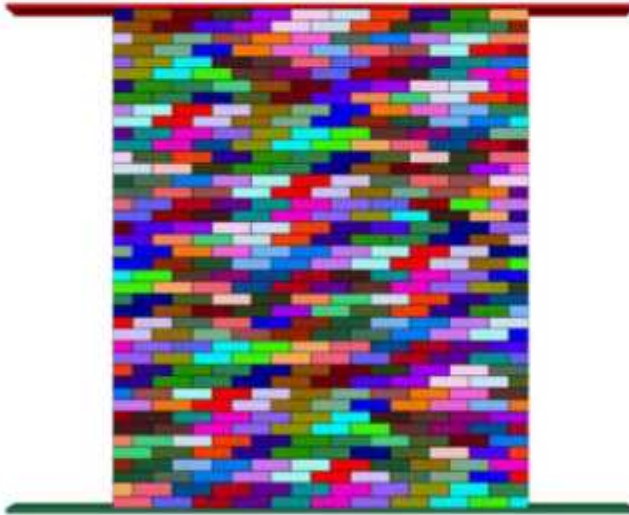
【도 22a】



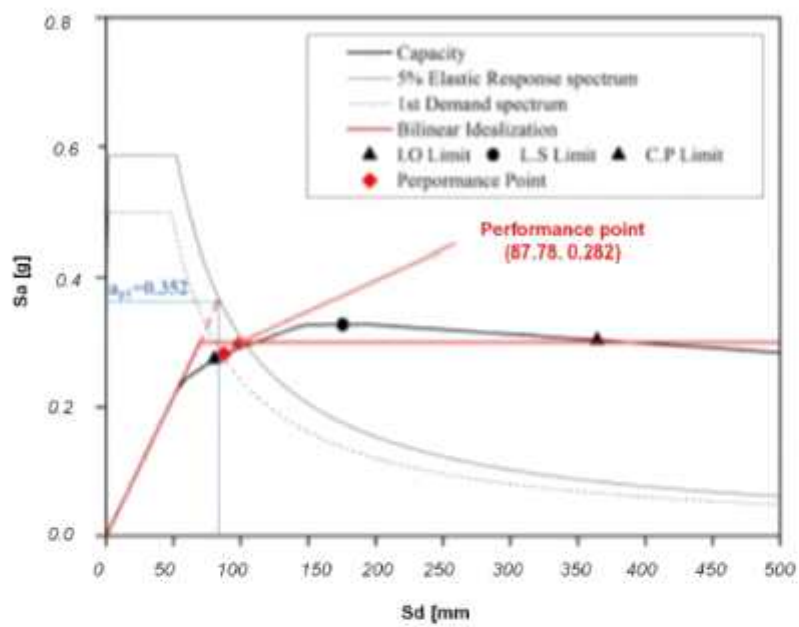
【도 22b】



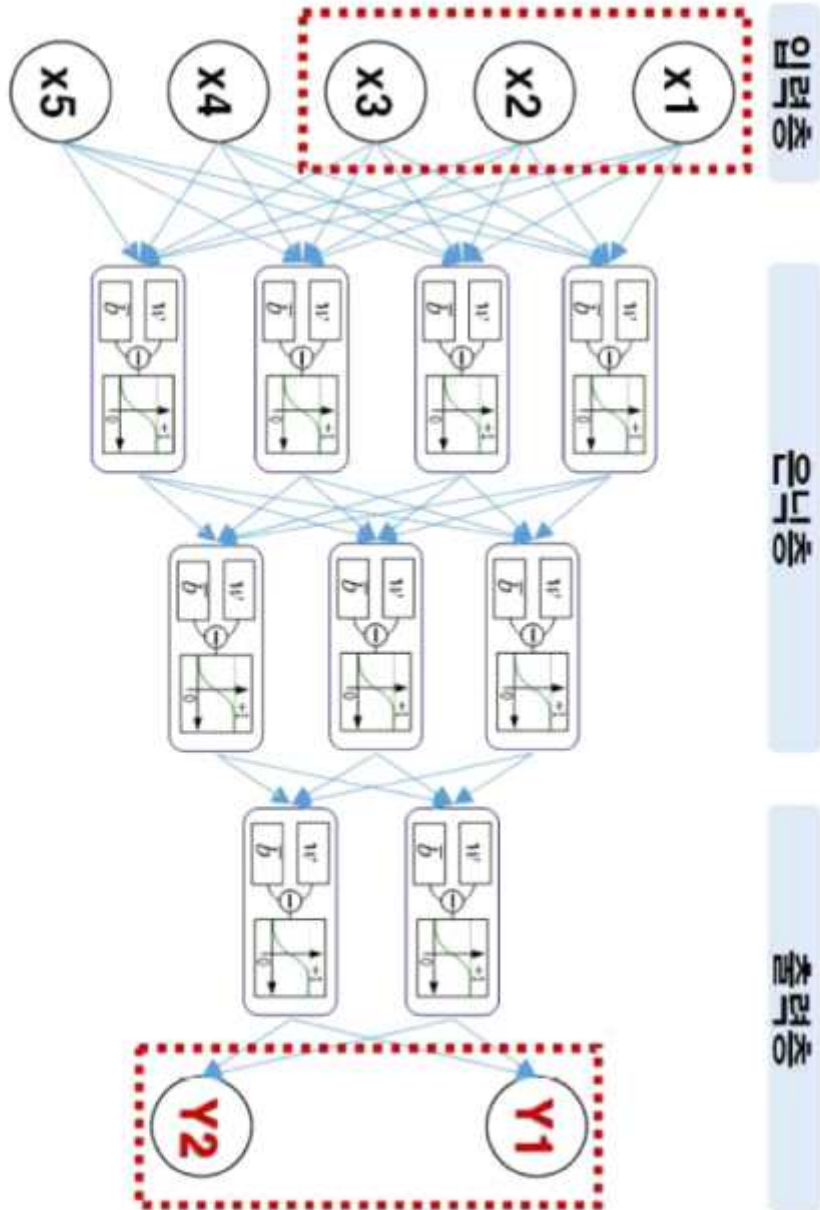
【도 22c】



【도 23】



【도 24】



4. 소프트웨어 등록

- [증빙 4-1] 저작권등록증

제	C-2020-036121	호
---	---------------	---



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	최창 조적조 자동 균열 탐지 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>프로그램 개발용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	이기학 서울특별시 송파구 올림픽로4길
4. 생년월일(법인등록번호)	1968년04월16일
5. 창작연월일	2020년09월24일
6. 공표연월일	2020년09월25일
7. 등록연월일	2020년10월13일
8. 등록사항	저작자 : 이기학 , 창작 : 2020.09.24, 공표 : 2020.09.25

『저작권법』 제63조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2020년 10월 14일

한국저작권위원회





- [증빙 4-2] 저작권등록증

제	C-2021-038916	호
---	---------------	---



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	이미지 기반 조적조 균열 크기 측정 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>프로그램 개발용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007768
5. 창작연월일	2021년08월02일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년09월30일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단 창작 : 2021.08.02

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 10월 01일

한국저작권위원회



- [증빙 4-3] 저작권등록증

제	C-2021-038758	호
---	---------------	---



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	조격조 균열 탐지를 위한 레퍼런스 객체 자동 탐지 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>프로그램 개발용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2021년08월02일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년09월30일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2021.08.02

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 10월 01일

한국저작권위원회



5. 전문가 자문의견서

5.1 전문가 자문의견서

전문가 자문의견서

자문명	'지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발' 전문가 자문
[자문내용]	
■ 치장조적건물의 상태판정 및 보강안 도출 본 연구는 학교건축물 및 일반상업건물에 널리 사용되고 있는 치장조적 구조물의 노후도 판정 및 보강솔루션을 개발하기 위한 과제로 개발에 성공시 널리 사용될 것으로 생각됨. 본 연구의 주요 내용으로, 1) 치장조적 구조물의 현장조사 자동화 및 상태판정 기준 마련, 2) 인공신경망 기반 조적벽체 내진성능평가 데이터 생성 및 의사 결정률 개발, 치장조적 보강공법 시방서, 참지관리 기준으로 되어 있으며, 상세 내용중에 드론을 이용하여 3차원 모델을 구축하고, 현장에서 천공하여 내시경카메라를 활용한 조사 등을 통해 연결철물 위치 조사를 수행하게 되어 있음. 이러한 내용은 진보적인 기술로 활용도가 높은 기술이지만, 대규모 건축물의 보강안 제시하기에는 시간적/기술적 한계점이 존재한다고 판단되므로 이러한 한계점을 보완하기 위해 추후 수행되어야 하는 내용을 간략히 서술하는 것이 좋을 것으로 판단됨. 일부 내용은 조금더 상세히 서술하면 좋을 것으로 판단됨.	
상기와 같이 자문의견을 제출합니다. 2021. 12. 23. 자문위원 소속 : 서울기술연구원 성명 : 강재도 강재도 직위 : 수석연구원	

전문가 자문의견서

자문명	'지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발' 전문가 자문
[자문내용]	
■ 치장조적건물의 상태판정 및 보강안 도출 지상5층 치장조적 건물에 대해 산학협력하여 상태판정 및 보강기준을 제시하고 관련 솔루션을 제공한 매우 실용적인 연구입니다. • 보강기준의 현장조사에서 육안판정 등급을 (다소 정성적으로) 제시하였는데, 실제 사례를 사진 등으로 보완해 주시면 실무 적용이 더 용이할 것 같습니다. • 보강기준의 연결철물의 보수/보강에서 숫자로 표시된 연결철물의 배치를 개념도를 삽입할 수 있다면 좋을 것 같습니다. • 핵심성으로 제시된 웹플랫폼을 통한 현장자료 입력 및 활용방안을 매뉴얼 형식으로 구체적으로 사례를 들어 보여주시면 향후 적용과 개선에 도움이 될 것 같습니다.	

상기와 같이 자문의견을 제출합니다.

2021. 12. 23.

자문위원 소속 : 공주대
직위 : 교수

성명 : 김두 

전문가 자문의견서

자문명	'지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발' 전문가 자문
[자문내용]	
■ 치장조적건물의 상태판정 및 보강안 도출 최근 교육시설 외부 치장벽돌의 파손·탈락 사고가 발생하여 기존 교육시설의 노후화된 치장벽돌 보수·보강 문제가 중요한 시점에서, 이와 같은 연구는 시의 적절하다고 판단됩니다. 특히, 다수의 교육시설에 설치된 외부 치장벽돌의 상태확인과 보수·보강에 소요되는 비용, 시간 등이 큰 문제인 것을 고려할 때, 이 연구결과는 교육시설분야에서 상당한 도움이 될 것으로 보입니다. 다양한 학교 여건을 고려하여 이 연구에 대해 다음과 같이 몇 가지 의견을 드립니다. 1. 치장벽돌이 설치된 학교 중에는 하부지지 받침부가 없거나 손상되어 사고 발생이 될 수 있는 문제가 존재하고, 그 외 내벽상태, 자중 외의 추가 하중 여부 등 일반 건축물에 비해 학교 건축물은 설계·관리 측면에서 미흡한 부분이 많음. 이러한 여건이 현장조사 시 확인 및 모델링 시 충분히 고려되는지 여부 2. 연구결과는 치장조적이 설치된 면적에 관계없이 적용되는지 여부. 중/개축이 잦은 학교 특성상, 고층 일부분(소규모 면적)에 치장벽돌이 설치되는 경우가 많음 3. 대부분 5층 이하인 초·중·고와 달리 5층을 초과하는 대학교 건물에도 치장벽돌이 설치된 경우가 많은데, 5층을 초과하는 건물에도 연구결과가 활용될 수 있는지 여부 4. 추후 연구결과가 학교 현장에서도 적극 활용되기 위해서는 학교에서의 드론 사용가능 여부, 기타 측정장비의 상용화 문제, 학교 특성상 타 환경개선공사(내진보강, 미래학교 등)와의 연계 추진방안 필요 등이 고려되면 좋을 것으로 판단됩니다.	

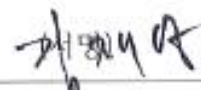
상기와 같이 자문의견을 제출합니다.

2021. 12. 23.

자문위원 소속 : 한국교육시설안전원

직위 : 팀 장

성명 : 김 재 영



전문가 자문의견서

자문명	'지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발' 전문가 자문
[자문내용]	
■ 치장 조적건물의 상태판정 및 보강안 도출 ○ 본 연구는 지상 5층 규모의 치장조적 마감상태에 대한 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물)과 더불어 보강안 도출을 8시간내에 수행 가능한 솔루션 개발 통한 연구성과를 제시하고 있음 ○ 평상시 안전점검 뿐만 아니라 지진피해에 대비할 수 있는 기술로 그 활용성이 인정됨 ○ 특히, 치장조적 현장조사 자동화 및 상태평가기준, 그리고 보강기준은 실무에서 즉시 사용 가능한 것으로 사료되며, - 추가적으로 아래의 지진 피해시설물 위험도 평가와 관련하여 연구성과 활용 및 현 기술을 바탕으로 향후 AR 등을 활용한 연구기술의 확장이 가능할 것으로 사료됨 ■ 연구성과 활용방안 자문 ○ 지진 피해시설물 위험도 평가 활용 가능 ※ 지진·화산재해대책법 제21조(피해시설물 위험도 평가), 같은 법 시행령 제13조의2(피해 시설물 위험도 평가의 절차 및 방법), 지진 피해시설물 위험도 평가 지침(행정안전부) - 지진으로 피해가 발생한 건축물이 여진 등에 의한 건축물의 붕괴 위험성 등 시설물의 사용가능 여부 등에 대한 위험도 평가에 활용 가능 - 즉, 현행 지진 피해시설물 위험도 평가는 평가단원들이 1단계(외부), 2단계(내·외부) 평가를 육안으로 점검하고 있는 상황으로, - 비보강 조적조 건축물 및 소규모 치장조적 건축물의 위험도 평가 시 보다 객관적 평가가 이루어 질 수 있을 것으로 사료됨	

상기와 같이 자문의견을 제출합니다.

2021. 12. 23.

자문위원 소속 : 국립재난안전연구원

직위 : 시설연구관

성명 : 이 정 한

이정환

전문가 자문의견서

자문명	'지상5층 치장조적 건물'의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발' 전문가 자문
[자문내용]	
■ 치장조적건물의 상태판정 및 보강안 도출	
- 치장조적에 대한 안전 문제가 지속적으로 대두되고 있는 시점에서, 앞으로 국가적으로 치장조적을 관리해 나가기 위해 좋은 연구결과를 제시하는 것으로 판단됨. 단, 해당 기술을 적용하기 위해서는 연결철물이 RC벽체와 같은 본 구조물과 모르타르 줄눈에 적합하게 앵커링 된 경우에만 적용가능한 것에 유의할 필요가 있을 것으로 판단됨. (연구, 실험 및 경험을 바탕으로 설계 및 시공이 되는 해외 선진국과는 달리 국내 치장조적은 현장 작업자들에 의해 무너지지만 않도록 시공되는 경향이 있음. 즉, 현장 작업자들의 이해 부족으로 설치되는 연결철물이 기준이나 시방에서 가정하는 강도가 확보되지 않는 경우가 다수인 것으로 추정됨. 따라서, 국내 치장조적의 연결철물은 연결철물의 부재보다는 설치된 연결철물의 강도 신뢰성이 더 큰 문제인 것으로 사료됨.) - 제곱미터당 2.5개 설치는 건축구조기준에서 제시하는 것보다 개수가 작으므로 국내 치장조적에 대한 근거가 필요할 것으로 사료됨. 현재 단계에서 아직 근거 자료가 충분하지 않다면 제곱미터당 설치되는 연결철물 개소를 증가시키는 것을 고려해보는 것을 추천함.	
상기와 같이 자문의견을 제출합니다. 2021. 12. 23. 자문위원 소속 : 조 구조기술사사무소 직위 : 대표 성명 : 조 성 우 	

상기와 같이 자문의견을 제출합니다.

2021. 12. 23.

자문위원 소속 : 조 구조기술사사무소

직위 : 대표

성명 : 조 성 우



6. 치장조적 보강기준 개발

6.1 치장조적 보강기준

치장조적 현장 조사 및 보수/보강 기준



 (주)미래구조엔지니어링

목 차

1. 일반사항	.....	1
1.1 목적	.....	1
1.2 적용범위	.....	1
1.3 용어의 정의	.....	1
1.4 벽연결철물의 교체	.....	3
2. 현장조사	.....	4
2.1 연결철물의 위치 조사	.....	4
2.2 내시경 조사	.....	5
2.3 치장조적 제거 및 연결철물 직경 조사	.....	6
3. 구조검토	.....	9
3.1 치장조적의 상태판정	.....	9
3.2 벽연결철물 구조검토	.....	9
4. 연결철물 보수/보강	.....	12
4.1 연결철물 보수공사의 필요성	.....	12
4.2 보수/보강 일반사항	.....	13
4.3 치장벽돌 균열보수	.....	13
4.4 신축줄눈 설치요령	.....	14
4.5 수직 방향의 신축줄눈	.....	14
4.6 수평 방향의 신축줄눈	.....	15
4.7 신축줄눈의 구분 및 시공 시 주의사항	.....	16
4.8 신축줄눈 주변 치장조적 연결철물의 설치요령	.....	18

<치장조적 현장 조사 및 보수/보강>

1. 일반사항

1.1 목적

1. 본 기준은 치장벽체의 균열파악, 벽연결철물의 상태판정으로 구조물의 건전성을 판단하고, 현장 조사에 따른 결과를 토대로 보수/보강안을 제시함으로써 구조물의 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하는 것을 그 목적으로 한다.

1.2 적용범위

1. 본 기준은 치장벽체의 보수, 보강 및 유지관리 단계에서 필요한 일반적이고 기본적인 요구사항을 규정한 것이다.
2. 치장벽체의 신축은 국토교통부의 『건축구조기준(KDS 41 34)』 및 교육시설재난공제회의 『학교시설 외부 치장벽돌 보수·보강 안내서(2020)』를 따른다.

1.3 용어의 정의

아래에서 별도로 정의되지 않은 용어의 정의는 교육부의 『학교시설 내진설계기준』 및 『학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼』 그리고 국토교통부의 『건축구조기준』 및 『건설공사 표준시방서』 (기존 『건축공사 표준시방서』)를 따른다.

- 가로줄눈: 조적개체가 설치되는 수평 모르타르 줄눈
- 깔모르타르 : 벽돌쌓기에서 쌓기면에 미리 깔아 놓은 모르타르 혹은 벽돌을 바닥에 붙일 경우의 바탕에 까는 모르타르
- 건축비구조요소: 건축구조물을 구성하는 부재중에서 구조내력을 부담하지 않는 구성요소로서 배기구, 부가물·장식물, 부착물, 비구조벽체, 액세스플로어 (이중바닥), 유리·외주벽, 천장, 칸막이, 캐비닛, 파라펫, 표면마감재, 표지판·광고판 등의 부재
- 공간쌓기(중공벽) : 벽체를 외벽(Outer wall)과 내벽(inner wall)으로 분리하고 사이에 공간을 두어 쌓는 방법. 단열이나 내화성능에도 유리하고 외부로부터의 빗물침투를 막는데 유리함

- 공칭치수 : 규정된 부재의 기준 치수에 부재가 놓이는 접합부의 두께를 더한 치수
(조적조에서는 조적개체인 벽돌치수에 모르타르 줄눈의 두께를 더한 치수를 의미)
- 구조부재: 기둥·기초·보·가새·슬래브·벽체 등 구조체의 각 구성 요소
- 구조체: 건축구조물에 작용하는 각종 하중에 대하여 그 건축구조물을 안전하게 지지하는 구조물의 기본뼈대를 지칭
- 기계·전기비구조요소: 건축물에 설치하는 기계 및 전기 시스템과 이를 지지하는 부착물 및 장비
- 기준치수 : 조적조, 조적개체의 단위, 접합부와 다른 구조요소의 시공과 제작을 위해 규정된 치수
(조적조에서는 조적개체인 벽돌의 치수를 의미)
- 두겹석(coping stone) : 석조나 조적조의 최상단에 씌우는 돌
- 백태(efflorescence) : 벽돌의 표면에 나타난 흰 가루. 백화라고도 함. 수분이 원인이 되어 발생한 다.
- 비구조요소: 건축비구조요소와 기계 전기비구조요소를 총칭
- 사춤: 돌이나 벽돌을 쌓을 때 그 틈을 시멘트나 모르타르를 채워 다지는 일.
- 세로줄눈: 조적개체가 설치되는 수직 모르타르 줄눈
- 신축줄눈(movement Joint): 벽돌 또는 벽돌이 접합하는 구체의 팽창 및 수축에 대한 균열 등의 손상이 발생하지 않도록 미리 설치하여 탄력성을 갖게 한 줄눈
- 연결철물(wall tie): 조적벽의 전도방지를 목적으로 다른 조적벽 또는 구조체에 연결하기 위하여 사용되는 철물부 전체를 의미하며, 보강철물이나 정착철물 등의 용어로 표현되기도 함. 넓은 의미에서는 구조체에서의 정착에 사용되는 앵커부를 포함하기도 하며, 좁은 의미에서는 구조체에서의 앵커부를 제외한 철물부를 의미하기도 함
- 외부 치장벽돌: 건물 외부에 마감의 일부로 시공되며 구조체로는 고려되지 않은 벽돌
- 외부 치장벽돌 상태평가: 외부 치장벽돌의 탈락으로 인한 사용자의 피해를 예방하기 위한 목적으로 자료조사, 현장조사, 구조해석 등을 통해 수행되는 외부 치장벽돌의 안전성 평가
- 인방: 개구부(문이나 창) 상부의 하중을 지지하기 위하여 개구부 상부를 가로지르는 수평부재
- 표준형 벽돌: 기준 치수 길이 190 mm, 폭 90 mm, 두께 57 mm이며, KS L 4201 및 KS F 4004에 규정한 조적용 벽돌
- 0.5B 쌓기: 기준 치수 크기가 190 mm (길이) x 90 mm (폭) x 57 mm (두께) 인 조적개체(벽돌)를 이용하여 90 mm 두께로 조적벽체를 쌓는 것
- 1.0B 쌓기 (1B 쌓기): 기준 치수 크기가 190 mm (길이) x 90 mm (폭) x 57 mm (두께) 인 조적개체(벽돌)를 이용하여 190 mm 두께로 조적벽체를 쌓는 것

1.4 벽연결철물의 교체¹⁾(Replacing wall ties)

본 기준은 벽연결철물 교체시공과 관련한 현장기술과 품질보증에 대하여 정리한 것이다

본 기준은 연결철물의 교체시공과 관련하여 다음과 같은 사항을 다루고 있다

- 기존 벽연결철물의 밀도와 배치 그리고 기존 벽체의 구조를 확인하기 위한 현장조사
- 일반벽에서 벽연결철물에 대한 샘플링 방법과 빈도 기준
- 연결철물의 부식상태 등급 구분 - 육안에 의한 방법과 잔여 아연도금의 양을 정량적으로 측정하는 방법 ; 잔여수명을 추정하고, 단기 및 장기적 관점에서의 보수방법을 추천
- 보수용 연결철물의 밀도와 배치 ; 구조기준에 의한 조항을 따를 것인지 계산에 의할 것인지
- 내부와 외부 조적벽 모두에 유효한 보수용 벽이음 공법의 선택과 검증
- 선택받은 시스템의 계약 전 테스트를 위한 샘플링 기술과 샘플링 비율
- 운영자, 감독, 독립적인 전문가로 하여금 시공이 시방에 의하여 수행되고 있다는 것을 확인할 수 있도록 하는 공사 중 품질관리 체크사항. 여기에는 육안점검, 파손된 부재들과 낡은 벽연결철물에 대한 체크, 내부 조적에 적절히 연결되었는지 확인하는 시험, 토크를 확인하기 위한 확장기, 내시경카메라(borescope)와 금속탐지기를 이용한 조사를 포함한다.
- 전반적인 품질이 만족할 수준인지 확인하기 위한 무작위 검사(random examination) 그리고 최종적인 외관 검사
- 시공과 관련한 설계근거를 확인할 수 있는 품질보증 문서
- 보증

1) BRE(Building Research Establishment) Digest 401

2. 현장조사(Investigation)

치장조적벽의 하자과 관련한 업무를 시작하기에 앞서, 해당 벽체가 중공벽이라는 것을 우선 확인해야한다 중공벽(cavity wall)은 19세기 초부터 적용이 시작되었지만 1900년 이후부터 대중화 되었다. 솔리드 조적벽도 1950년까지는 일반적으로 사용되었다. 중공벽의 내벽은 조적이 일반적이지만, 목조, 콘크리트 또는 철골조 일수도 있다

조적조의 공법은 건물의 높이에 따라서 중공벽에서 솔리드 벽으로 바뀌게 된다. 층별로 마감이 바뀌는 곳이나 파라펫 벽에 대해서는 특별히 관심을 가져야 한다. 미려한 외관을 가진 치장중공벽은 1층에 사용하고 그 위층은 타일처럼 붙어 있는 솔리드 벽체를 사용하는 것이 일반적이다. 오래된 건물의 평면 증축이나 수직증축 부는 원래 공법과는 다른 경우가 많다.

대부분의 시공 상태별로 적용할 수 있는 보수기술이 있는데, 부적절한 공법을 적용할 경우에는 값비싼 지연을 야기할 수 있다. 아래의 의사결정과정 순서도가 참고가 될 것이다. 그래도 의문스러운 경우에는 벽을 내시경으로 확인하거나 벽돌을 제거한 후 육안조사를 해야 한다.

벽의 공법별로 보수용 자재를 선택해야하는 것에 유의해야한다. 매우 부드럽거나 매우 단단한 재료 그리고 중공이 있는 벽돌 벽과 마주치게 되면 문제가 발생한다. 기존의 중공 부를 채우고 있는 단열재는 현장의 어려움을 증가시킨다. 공법의 선택에 있어서 내화성능, 방수성능, 심미적 기능 그리고 단열성능과 함께 구조적 성능도 함께 고려해야한다.

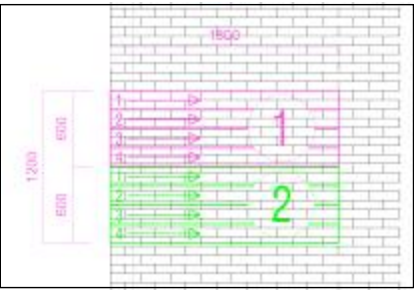
벽 연결철물 재시공과정에서 손상되는 단열재는 재시공을 해서 중공부의 단열층의 성능을 유지하는 것이 중요하다. 지금까지는 연결철물의 열교현상(Cold bridge)에 대하여 별도로 고려하지 않지만 향후에는 이것도 이슈화될 것이다. 기존의 연결철물을 제거하는 것이 기술적으로 좋고, 고객이 원한다면 공사비를 구체화할 수 있도록 연결철물을 조사해야 한다. 각 입면 당 최소 $6m^2$ 의 면적을 금속 탐지기를 이용하여 조사하고, 내시경카메라로 조사할 위치를 표시한다. 개구부가 있는 경우에는 대표적인 샘플을 얻을 수 있도록 주의해야한다. 만약 벽돌 내에 금속성분이 들어있어서 금속탐지기가 오류를 보인다면 내시경 조사가 대안이 될 수 있다. 손상이 벽의 안정성에 영향을 줄 수 있는 경우에는 작업자에 대한 안전영향까지 고려해서 영향부위에 대한 철거 후 재시공을 검토하여야 한다.

2.1 기존 벽 연결철물의 상태 및 아연도금의 손실량을 확인하기 위한 표본추출 (Sampling to determine condition and zinc loss of corroded ties)

1가구 주택이거나 주택의 일부분에 대하여 조사할 때에는 외관에 손상이 생길지 모른다는 집주인의 우려에 반하여 화학적 분석을 하거나 연결철물을 제거하는 등의 조치는 경제적이지도 않고 합리적이지도 않다. 줄눈을 제거하면 벽이음 철물의 외벽 쪽에 묻혀있던 부위와 중공부에 노출된 부위를 육안으로 확인할 수 있다. 내시경 장비가 도움이 된다. 필요하다면 내벽 측의 연결철물 상태를 별도로 조사할 수 있는데, 이때는 찬장 뒤편과 같이 손상이 용인될 수 있는 곳을 선택하게 된다.

2.2 연결철물의 위치 조사

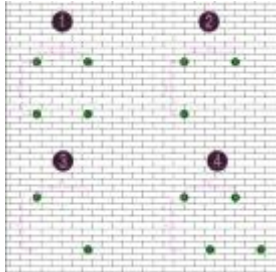
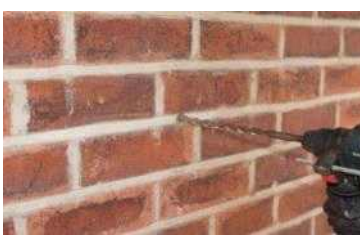
1. 각 입면 당 최소 $6m^2$ 의 면적을 금속 탐지기(페로스칸)를 이용하여 조사하고, 내시경 카메라로 조사할 위치를 표시한다. 입면 당 최소 2개의 연결철물을 조사하며 입면의 개수와 증축여부를 고려하여 조사 표본수를 산정한다.
2. 연결철물의 배치는 최소 2~3개 이상의 간격을 확인하는 것으로 하고, 연결철물이 나타나지 않거나, 조사가 불가능한 경우에는 영역을 옮겨 재조사 하여야 한다.

검사법	벽체 20m ² 당	입면 당	증축부
현장 육안 검사	1개	최소2개 최대 4개	증축부는 추가조사
제거/화학적 분석	1개	1개	증축부는 추가조사
1. 개구부도 벽 면적으로 하여 계산 2. 균열이 있거나, 변형이 있는 부위는 반드시 샘플을 채취 3. 눈에 보이는 손상이 없을 경우, 중간층의 중앙부에서 샘플을 채취 4. 대상건물의 규모가 작거나 중요도가 낮아서 연결철물의 제거 및 화학분석을 할 가치가 없는 경우, 연결철물을 채취하지 않고 내시경카메라만으로 확인할 수 있다			
  			
조사영역 표시			

	
페로스칸	연결철물 위치 조사

2.3 내시경 조사(Endoscope Inspection)

1. 치장조적 연결철물의 위치가 파악되면 해머드릴 등을 이용하여 조적벽돌에 손상이 가지 않도록 주의하면서 모르타르를 제거하고, 내부에 설치되어있는 연결철물의 상태를 확인한다.
2. 연결철물의 표면 상태에 따라 사용가능 수명을 예측할 수 있다

Step 1	금속탐지기를 이용한 위치조사		
Step 2	외벽에서 중공위치까지 드릴로 천공		
Step 3	내시경카메라를 이용하여 조사		

2.4 치장조적 제거 및 연결철물 직경 조사

1. 연결철물의 상태를 더욱 확실하게 확인하기 위하여 치장조적을 제거하는 등의 방법으로 연결철물에 직접 접근하여 직경 및 상태를 조사한다.

Step 1	금속탐지기를 이용하여 위치를 확인한 후, 모르타르를 제거하여 벽돌제거(단열재 등으로 내시경카메라 이용이 곤란한 경우)	
Step 2	벽돌을 제거한 후 연결철물의 외부쪽 부식상태 확인	
Step 3	부식상태에 따른 교체시공 / 연결재 추가설치 결정	

2. 붉은 녹이 발견되었을 경우, 이것을 즉각 재시공해야할지 아니면 일정기간 경과 후에 보수해도 될지를 판단하기 위하여 다음 자료를 활용하면 된다.

참조	부식 수준	상태 설명
1	아연 부식없음	아연/아스팔트 코팅 층이 여전히 반짝인다.
2	아연 가벼운 부식	고른 회색이지만 광택이 나지 않는 아연층.(흑색도 있지만 광택은 없다.)
3	아연 중간 부식	일부 분리가 있는 중간 회색의 아연층.(약간 또는 어두운 영역)
4	아연 심한 부식	아연 층 짙은 회색에서 검은 매트 색상: 군데군데 녹이 슬거나 약간 녹이 슬었을 수도 있다.
5	아연 백색 녹	흰 화합물로 덮인 : 군데군데 녹이 슬거나 약간 녹이 슬었을 수도 있다.
6	아연 완전 부식	아연이 부식되어 면적의 10%까지 붉은 녹이 슬었지만, 연결철물의 단면은 줄지 않았다.
7	빨간 녹	아연이 상당 부분 사라졌고, 붉은 녹이 슬었지만 단면은 크게 줄어들지 않았다.
8	빨간 녹 & 침식	대부분 붉은 녹이 슬고 산화철 층이 쌓이고 강철 단면 손실이 크다.
9	완전 파손	강철 단면이 설계 단면의 3분의 1 미만이거나 완전히 침식된 상태.
1. 아연도금 대신 방청 도장이 사용될 수도 있다		

<연결철물의 육안판정 등급>

참조	부식수준	잔여 수명 년(별도계산)	권장 조치		잔여 수명 년 ⁽³⁾	권장 조치	
			최고	최소		최고	최소
1 ⁽¹⁾	아연/아스팔트 코팅 부식없음	> 10	10년 후 검사	None	< 10/ND	5년 후 검사	10년 후 검사
2 ⁽¹⁾	아연/아스팔트 코팅 가벼운 부식	> 10	10년 후 검사	None	< 10/ND	5년 후 검사	10년 후 검사
3	아연 중간 부식	> 10	10년 후 검사	None	< 10/ND	철물 보강	5년 후 검사
4 ⁽¹⁾	아연/아스팔트 코팅 심한 부식	> 10	5년 후 검사	10년 후 검사	< 10/ND	철물 보강	5년 후 검사
5	아연 백색 녹	> 10	5년 후 검사	10년 후 검사	< 10/ND	철물 보강	5년 후 검사
6 ⁽¹⁾	아연 완전 부식	> 10	5년 후 검사	10년 후 검사	< 10/ND	철물 보강	2년 후 검사
7 ⁽¹⁾	빨간 녹	NA	NA	NA	NA	철물 보강	보강계획 수립
8 ⁽¹⁾	빨간 녹 & 침식	NA	NA	NA	NA	-	철물 보강
9 ⁽¹⁾	완전 파손	NA	NA	NA	NA	-	철물 보강
1. 아스팔트 코팅으로 방청되는 제품에 적용 2. 모든 검체의 부식수준이 동일하거나 일부 검체가 최악의 검체보다 덜 부식된 경우에만 최소 옵션을 선택 3. 별도계산에 의해 잔여수명이 10년 미만으로 계산된 경우 또는 시각적으로만 확인한 경우 NA=not applicable.(해당되지 않음.) ND=not determined by chemical analysis.(화학적 분석에 의해 결정되지 않음.)							

<연결철물 상태에 따른 잔여수명 및 권장조치>

만약에 아연도금 두께 확인이 필요하다면 철물을 각 구역의 경계에서 잘라서 세 조각으로 만들고 각각에 레이블이 붙은 봉지에 보관한다. 참조1로 분류된 조각은 시공당시의 시방서가 명확하지 않은 경우에만 해석이 필요하다. 연결철물의 대부분 또는 전체가 아연도금 되어 있을 경우(참조 2~6에 해당)는 내부나 외부의 부식에 의해서 철물이 거의 부식되지 않은 것이므로 느슨해진 몰탈을 제거하고, 몰탈에 붙은 부식된 제품을 노출시켜 거친 솔로 표면의

흰색 녹을 제거한다. 이때 연마제가 있는 세척제나 쇠 솔을 사용하게 되면 금속을 이동시키기 때문에 사용하지 않는다.

3. 구조검토

3.1 치장조적의 상태판정

1. 치장조적의 안전에 대한 상태판정은 보수 및 보강필요성의 관점에서 검토한다. 보강 공사비를 산출하는 관점에서 보면, 연결철물의 보수 및 보강이 가장 중요한 변수가 되고, 추가적으로 균열의 폭이나 길이, 수평줄눈의 간격을 확인하여 추가적인 보강을 판정하도록 한다.
2. 치장조적의 상태판정을 위하여 연결철물의 간격 및 내구연한을 확인한 후, 보강 필요성을 확인하기 위한 내풍 및 내진 구조검토는 최신의 건축구조설계기준을 적용한다.
3. 현장에서 조사한 결과 기존의 연결철물의 내력을 기대하기 어려운 경우, 조적 몰탈의 강도를 확인하여야 하며 『학교시설내진성능평가 기준』에서 제시하는 강도를 적용할 수 있다.

3.2 벽연결철물 구조검토

1. 현장 조사를 토대로 구조검토를 진행하여 보강량을 산정한다.
2. 구조검토는 국토교통부의 『건축구조기준(KDS 41 17 00:2019)』와 『LH공동주택 비구조요소 내진설계 매뉴얼(KDS 41 17 00:2019)』, 『LH공동주택 비구조요소 내진설계 예제집(KDS 41 17 00:2019)』을 따른다.
3. 벽연결철물의 구조검토에는 치장조적의 자중, 지반조건, 건물의 높이, 비구조요소의 최대 설치 높이 등을 고려하여 구조검토를 진행하며, 수평지진하중, 수직지진하중, 풍하중으로부터 구조적 안전성을 확보한다.
4. 구조검토는 비구조요소 설계 지진하중, 치장 조적벽 휨강도 검토, 치장 조적벽 연결철물 검토 순으로 이루어진다.
5. 비구조요소 설계 지진하중 계산 시 고려되어야 하는 항목으로는
지붕층의 평균 높이 (h)
비구조요소의 최대 설치높이 (z)
비구조요소의 중요도 계수 (I_p) = 1.0 (피난경로 확보에 지장을 주지 않는 상황으로 가정)

(건물에 대한 중요도계수 I_e 와는 별개의 계수임.)

m^2 당 치장조적의 중량 (W_p)

건축비구조요소의 설계계수

a_p (증폭계수)

R_p (반응수정계수)

Ω_p (초과강도계수)

등이 고려되어야 하며, 다음 식으로 수평 지진하중을 구할 수 있다.

$$F_p = \frac{0.4 \times a_p \times S_{DS} \times W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \times \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (\text{식 1})$$

단, $0.3 S_{DS} I_p W_p \leq F_p < 1.6 S_{DS} I_p W_p$

수직 지진하중(E_h)은

$E_h = F_p$

수직하중 계산 시에는 비구조요소의 중요도계수 I_p 가 포함되지 않는다.

6. 치장 조적벽 휨강도 검토는 단위 외팔보(캔틸레버) 구간 길이를 연결철물 수직 간격의 절반으로 가정할 경우 최대 휨모멘트는 상부 외팔보 지지점에서 발생한다.

$$M_u = \frac{w_u \times l^2}{2} \quad (\text{식 2})$$

강도감소계수 $\phi=0.6$ (비보강 조적조, 휨)

대한건축학회에서 발간한 "비구조요소 내진설계 예제집"을 따르면 비보강조적조의 강도감소 계수는 $\phi=0.6$ 으로 적용하고 있다.

설계휨강도는 역학의 탄성이론으로부터

$\phi M_n = \phi \times S \times f_r$ 를 적용할 수 있다.

이때, f_r 은 공칭 휨인장강도로 "비구조요소 내진설계 예제집"을 따른다.

조적채움벽의 설계기준강도 기본값(MPa)

조적의 상태		양호	보통	불량
설계기준 압축강도		6.2	4.1	2.1
설계기준 인장강도		0.14	0.07	0
설계기준	수평 및 수직 줄눈이 밀실하게 채워진 경우	0.19	0.14	0.09
전단강도	수평 및 수직 줄눈이 밀실하게 채워지지 않은 경우	0.076	0.055	0.035

양호 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나지 않고 육안으로 확인되는 균열이 없는 경우

보통 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나지 않고 육안으로 확인되는 미세한 균열이 있는 경우

불량 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나거나 심각한 균열이 있는 경우

일반적인 현장의 치장조적벽체를 검토할 경우 보통 상태로 가정하여 0.07MPa를 적용한다.

7. 치장 조적벽 연결철물 검토는 취성에 의해 지배되므로 Ω_p (초과강도계수)를 2.0을 사용한다.

$$\Omega_p \text{ (초과강도계수)} = 2$$

$$\text{연결철물 소요강도} = w_u \times \Omega_p \times A \quad (\text{식 3})$$

$$w_u = E_h \quad (\text{식 4})$$

8. 풍하중을 고려하여 설계 하중조합을 산정하여야 한다.

설계 하중은 지진하중과 풍하중 중 지배하중으로 설계하여야 하며, 다음의 하중조합으로 설계한다.

$$1.2D + 1.0E + 1.0L \quad (\text{KBC 2016 식 0301.5.5.})$$

$$0.9D + 1.0E \quad (\text{KBC 2016 식 0301.5.7.})$$

$$1.2D + 1.3W + 1.0L \quad (\text{KBC 2016 식 0301.5.4.})$$

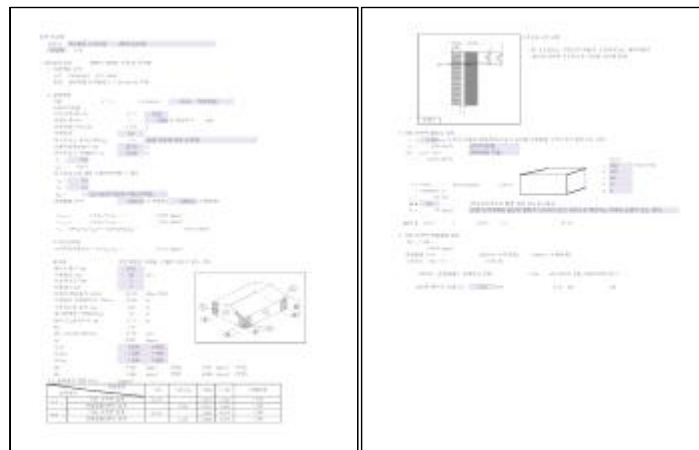
$$0.9D + 1.3W \quad (\text{KBC 2016 식 0301.5.6.})$$

* 부압 기준 지진하중과 풍하중 비교 예시

설계 대상 \ 하중종류		1.0E	$1.0E \times \Omega_p$	1.0W	1.3W	지배하중
벽 면 4구역	치장 조적벽 설계	0.770kPa	-	0.761kPa	0.989kPa	1.3W
	연결철물(앵커) 설계	-	1.540kPa	0.761kPa	0.989kPa	$1.0E \times \Omega_p$
벽 면 5구역	치장 조적벽 설계	0.770kPa	-	0.761kPa	1.258kPa	1.3W
	연결철물(앵커) 설계	-	1.540kPa	0.761kPa	1.258kPa	$1.0E \times \Omega_p$

위 표는 각 하중 조합에서 지배하중을 산정한 자료의 예시이다.

연결철물의 설계 시 초과강도계수가 지배하중 산정에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.



<벽연결철물 구조검토 예시(부록1 참고)>

4. 연결철물 보수/보강

4.1 연결철물 보수공사의 필요성

1. 부식(Corrosion) : 기존에 사용되었던 연결철물은 아스팔트 코팅, 아연도금, 플라스틱 등으로 부식에 대하여 대비하였으나, 시간의 경과에 따라 부식되는 것을 막을 수 없다
2. 연결철물의 수량 부족 : 연결철물이 부족할 경우, 바람에 의한 치장벽돌의 내력을 심각하게 저하시킨다. 철물의 급격한 파단이 흔하지는 않지만, 언젠가 반드시 일어나게 되고, 벽체의 붕괴로 이어진다
3. 시공불량 : 연결철물의 시공이 부적절한 경우 연결철물의 수량이 부족한 것과 유사한 결과로 이어진다



4.2 보수/보강 일반사항

1. 연결철물의 배치

일반적으로 $2.5\text{개}/\text{m}^2$, 0.25m^2 당 1개 이상, 개구부 주위에서는 300mm이하로 배치 이외에도 구조검토를 통해 구한 간격을 사용할 수 있다.

2. 내력시험

연결철물 시공 후, 충분한 내력이 확보되었는지 현장시험이 필요하다

3. 기존 연결철물의 처리

봉쇄 : 연결철물은 외벽쪽에서 부식이 더 빨리 일어나기 때문에, 내벽쪽은 상대적으로 부식이 더디게 일어난다. 부식이 더 이상 일어나지 않도록 하는 작업을 isolation으로 표현하는데, 외측 철물을 잘라내고, 내부의 철물은 우레탄폼 등의 재료로 감싸서 부식의 진행을 막아준다.

제거 : 부식의 진행이 빨라서 내벽 정착부까지 부식이 진행된 경우 제거해야 한다.

4. 가설 및 보강공사

비계 또는 고소작업차 필요

추가적인 마감이 있을 경우, 원상복구를 위한 작업이 필요

- 외부 치장벽돌의 구조적 보강은 내부 벽체의 여건에 따라 보강방안이 달라진다. 내부가 철근콘크리트 벽체인 경우, 1B 미만인 조적벽체인 경우, 그리고 1B 이상인 조적벽체인 경우로 나누어 구조적 보강을 판단하여야 한다.
- 면외전도 보강 방안들은 모두 치장벽돌의 자중이 안전하게 지지되는 것이 선행 되어야 하며 자중 지지에 문제가 있는 경우 수직보강을 우선적으로 실시해야 한다.

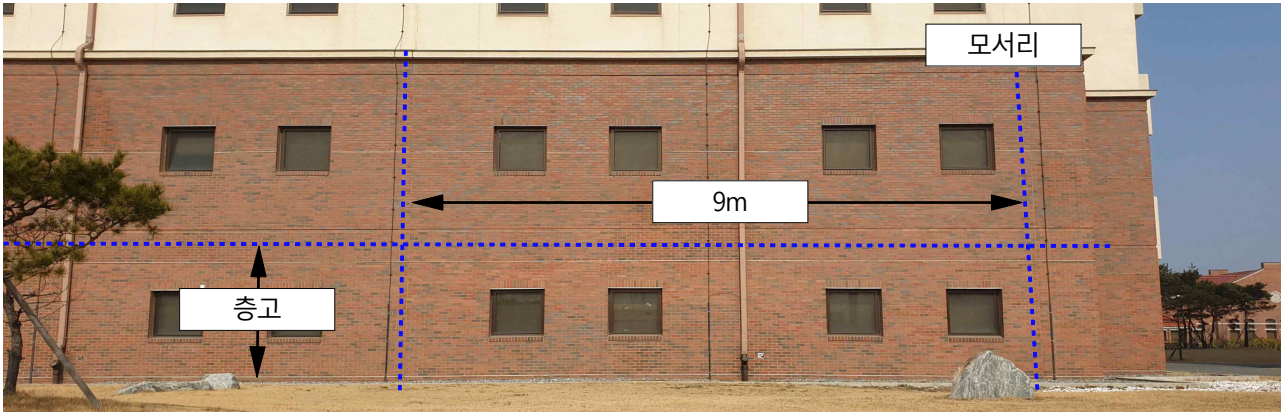
4.3 치장벽돌 균열보수

1. 줄눈 균열에 의한 단순 보수

결함유형	보강안 개념도	특징
균열이 작은 경우	에폭시 주입	· 콘크리트 부재와 동일한 일반적인 균열 보수법
균열이 큰 경우	 줄눈 재시공	· 상부 벽돌 손상에 주의 필요
누수	 외부 발수제 도포	· 일반적인 외벽 방수 보수법

2. 신축줄눈 시공 불량에 의한 균열 보수

- 1) 신축줄눈(movement joint)이 설치되지 않아 온도에 따른 신축으로 인해 치장벽돌에 균열이 발생한 경우는 발생한 줄눈 균열을 탄성체로 보강하여야 한다.



<신설 건물의 줄눈 설치 위치>

4.4 신축줄눈 설치요령

치장조적벽체의 신축줄눈(Movement joint)는 줄눈의 설치 간격(m) 보다 약 30% 추가된 수치적 값(mm)의 너비를 사용하여야 한다.

예시; 줄눈 설치 간격 = 12m

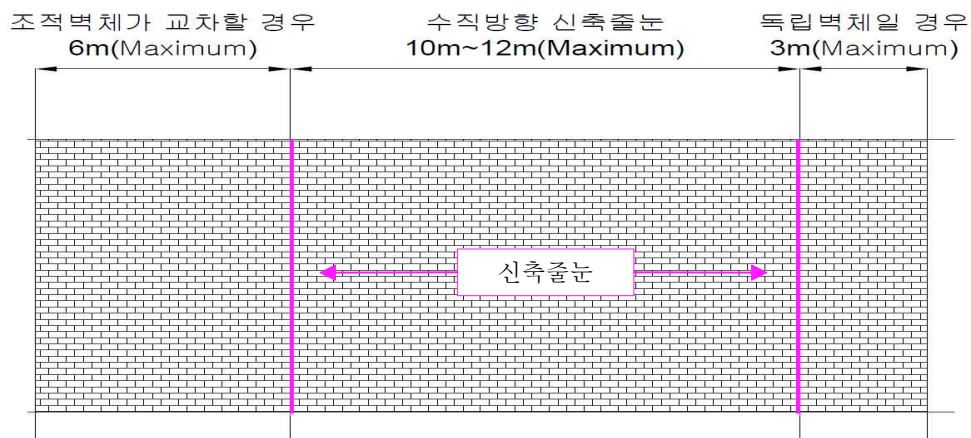
$$12 \times 1.3 = 15.6$$

따라서, 약 16mm의 줄눈 너비가 필요하다.

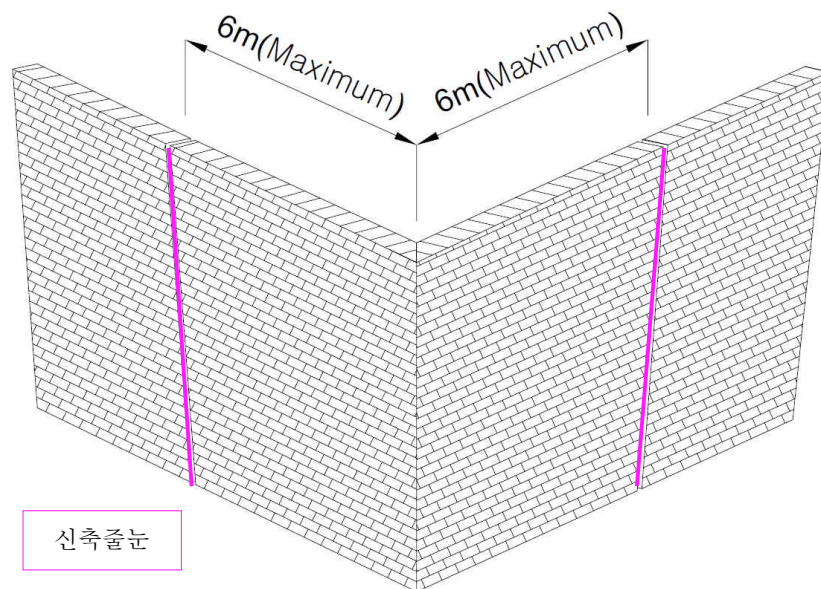
4.5 수직 방향의 신축줄눈

수직 방향의 신축줄눈은 10m~12m 간격으로 설치하며 최대설치간격은 12m를 넘지 않도록 한다.

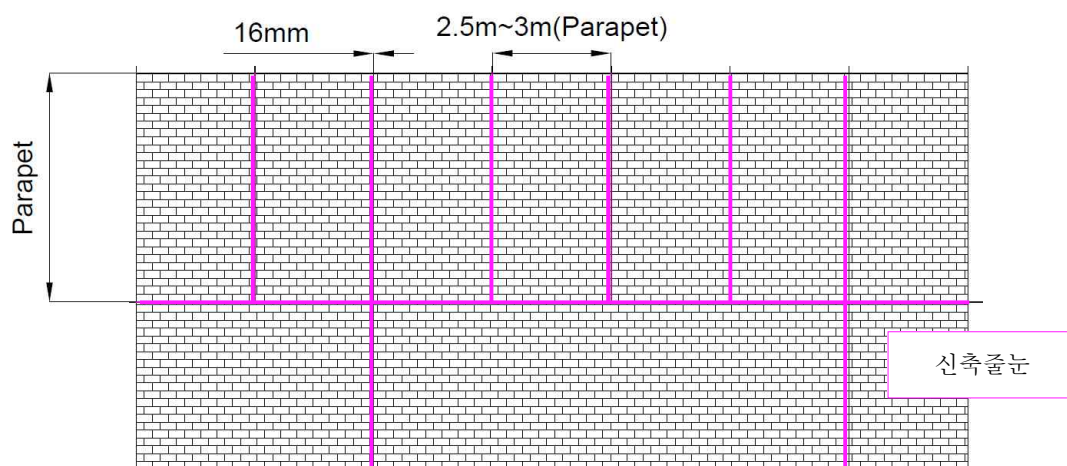
독립벽체일 경우 단부 길이는 3m를 초과하지 않아야 한다.



치장조적이 교차되는 단부의 경우 최대 6m 이내에 신축줄눈을 설치하여야 한다.

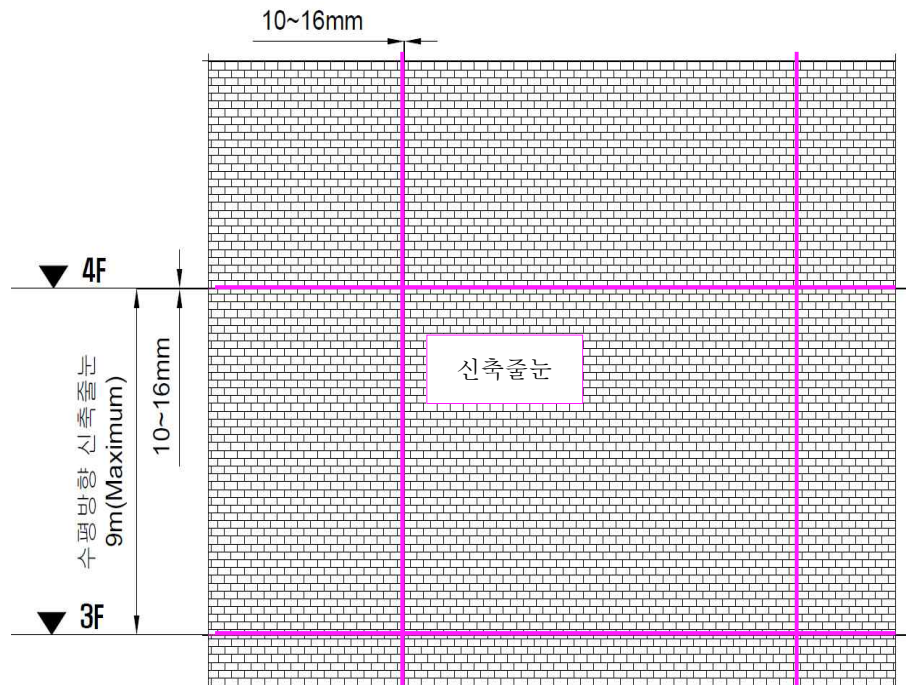


Parapet의 경우 수직 방향의 신축줄눈의 간격은 최대 3m로 한다.

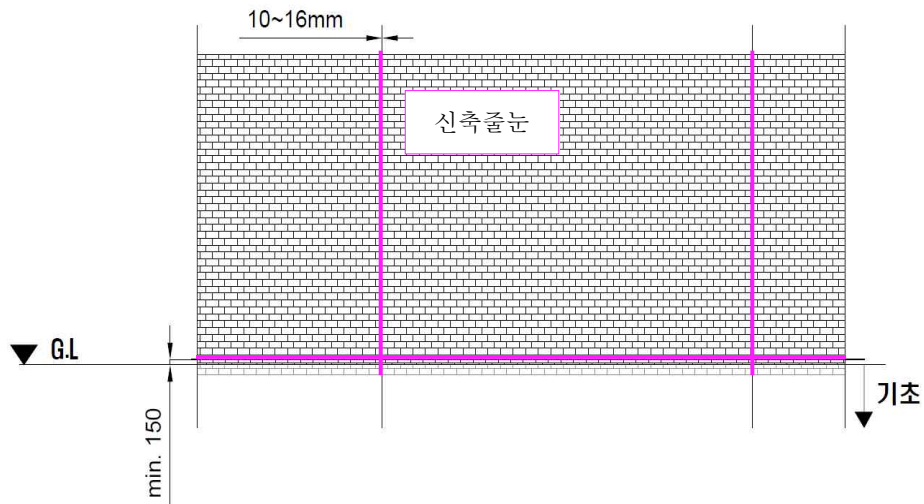


4.6 수평 방향의 신축줄눈

수평 방향의 신축줄눈은 최대9m를 초과하지 않도록 한다.

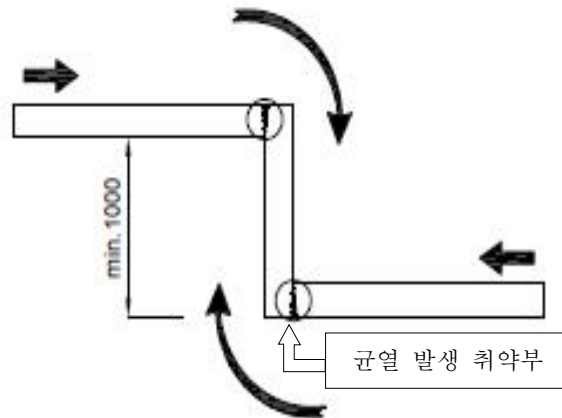


최하단의 신축줄눈은 G.L.에서부터 최소한 150mm를 이격시켜 설치하여야 한다.



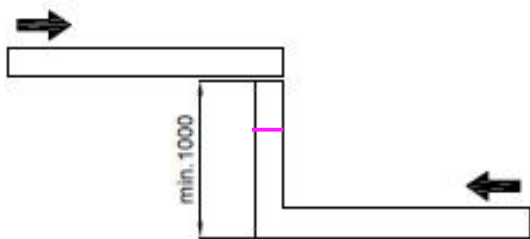
4.7 신축줄눈의 구분 및 시공 시 주의사항

신축줄눈이 제대로 시공 되지 않을 경우 치장조적벽체의 변형에 의해 균열이 발생할 우려가 있다.



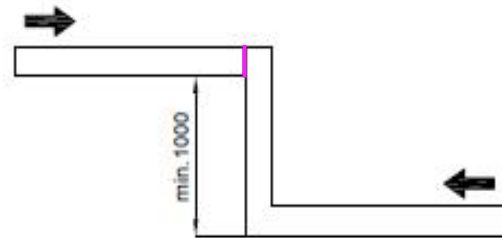
신축줄눈은 시공되는 형태에 따라 '미끄러짐 줄눈', '압축허용 줄눈', '양쪽 설치 줄눈' 등으로 구분할 수 있다.

치장조적벽체가 꺾이는 부분은 모서리에서 최소 1m 이상 이격된 위치에 신축 줄눈을 설치하여야 한다.



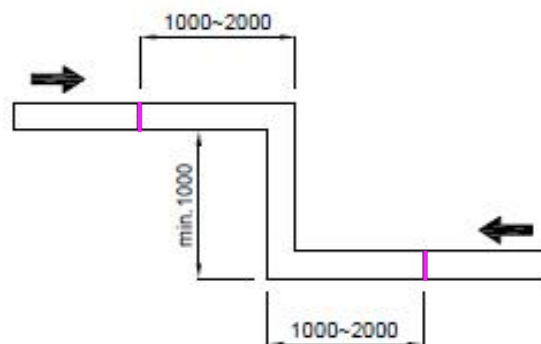
미끄러짐 줄눈('Slide by' joint)

(compressible joint)



압축허용 줄눈

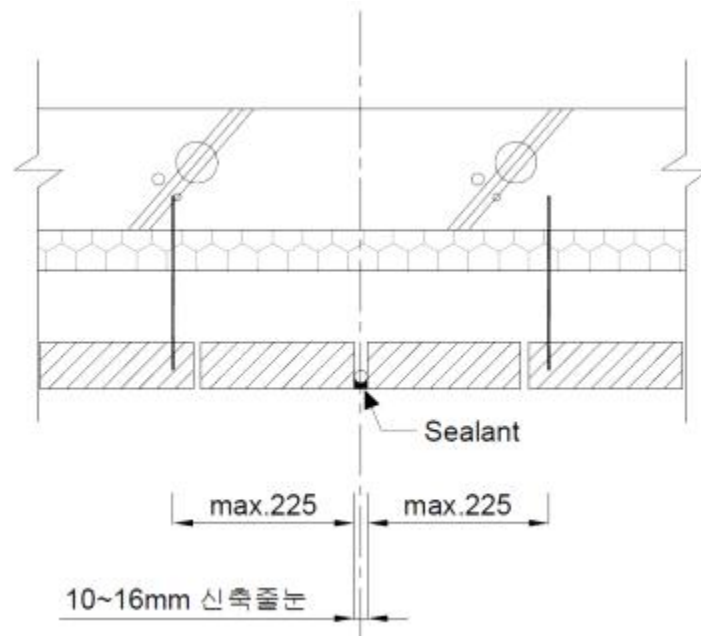
벽체의 모서리 양쪽으로 신축줄눈을 설치하는 경우에는 모서리에서 1~2m 이격된 위치에 신축줄눈을 설치하여야 한다.



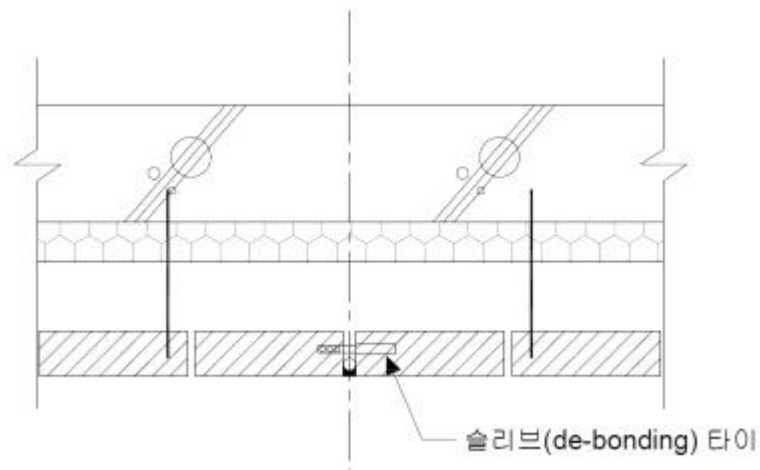
양쪽 설치 줄눈

4.8 신축줄눈 주변 치장조적 연결철물의 설치요령

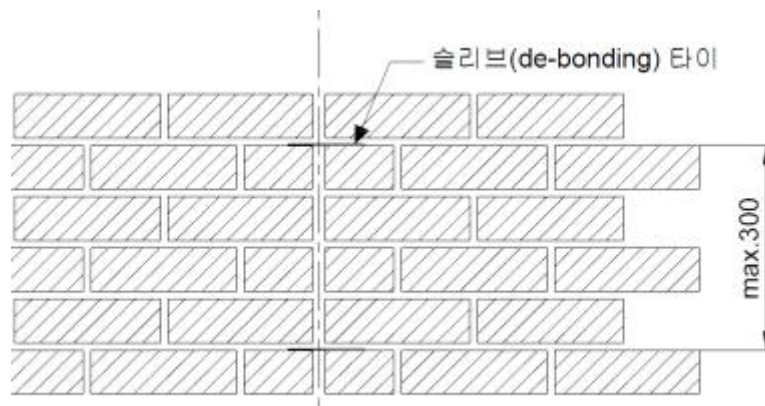
신축줄눈의 양쪽으로 최대 225mm 이내로 연결철물을 설치해야 한다.



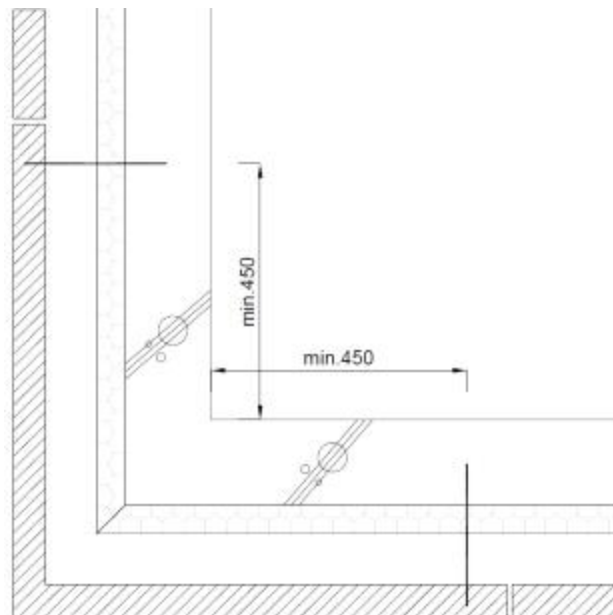
신축줄눈 영역의 치장조적 내부에는 길이방향으로 변형을 허용하는 슬리브 타이를 설치한다.



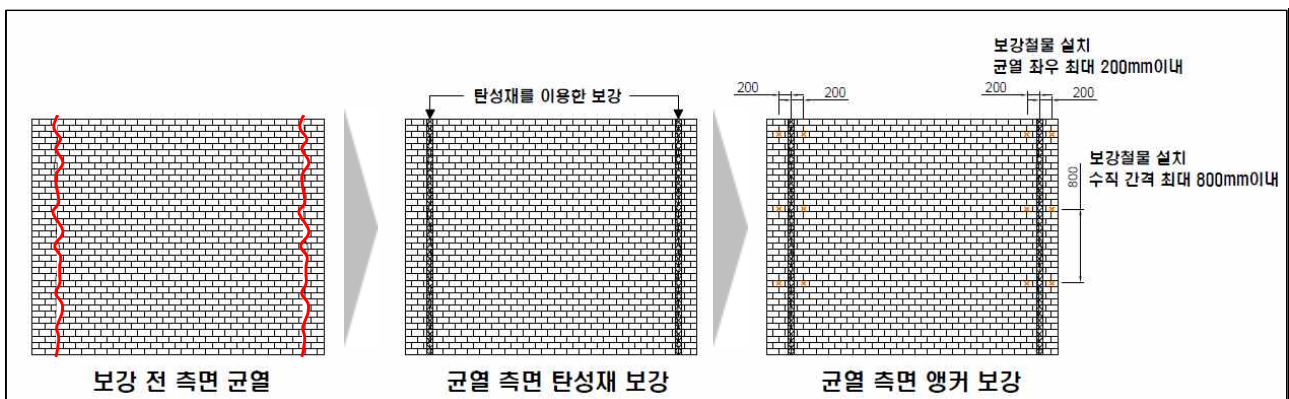
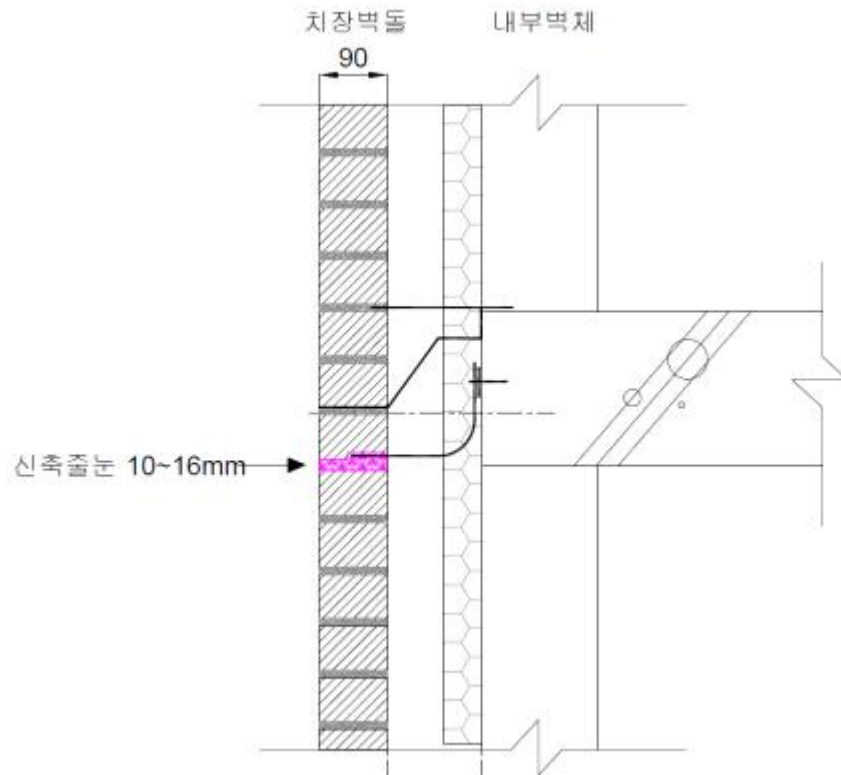
슬리브 타이의 수직 간격은 최대 300mm를 넘지 않도록 시공한다.



모서리 부분의 연결철물은 내부 구조체의 안쪽 면 기준으로 최소 450mm 이상 이격시켜 시공하여야 한다.



치장조적벽체와 내부 구조체에 시공된 연결철물은 수분이 직접적으로 접촉하지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다.



<신축줄눈 보수 및 보강 상세도>

모서리 균열 발생 시 발생한 균열을 기준으로 좌우 200mm 이내, 수직간격으로는 800mm 이내로 보강용 앵커를 설치하여야 하며 균열부는 탄성퍼티 등을 사용하여 온도에 따른 조적벽체의 변화를 흡수 할 수 있는 탄성재를 이용하여 보강하여야 한다.

표면 마감재

현장명

(외벽-오서리)

최상층 0.58

* 내진설계 검토 : 변형이 제한된 부재 및 부착물

1. 치장벽돌 규격

- 크기 : 190x90x57 - KS F 4004
- 중량 : 일반벽돌 단위중량 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ 적용

2. 설계하중

- 자중 : $Y \cdot t = 1.8 \text{ kN/m}^2$ (0.58, 마장없음) 치장조적 입력

- 수평지진하중

지진구역계수(Z) : 0.11 전남

위험도계수(I) : 2 2400년 재현주기 80% 지반조건 입력

유효지반가속도(S) : 0.176 g

지반조건 : S4

비구조요소 중요도계수(I_p) : 1.0 (표면 마감재-치장 조적벽)

건물지붕평균높이 (h) : 24.70 m

비구조요소 최대높이 (z) : 25.80 m 건물 높이 입력

$F_a = 1.45$

$S_{ps} = 0.425$

비구조요소에 대한 수평지진하중 F_p 계산

$a_p = 1.0$

$R_p = 1.5$

$\alpha_p = 2.0$ (2.0 (표면 마감재-치장조적벽))

연결철물 간격 : 300mm (수직방향), 300mm (수평방향) 연결철물 간격 입력

$F_{pmax} = 0.3 \cdot S_{ps} \cdot I_p \cdot \omega_p = 0.230 \text{ kN/m}^2$

$F_{pmin} = 1.6 \cdot S_{ps} \cdot I_p \cdot \omega_p = 1.225 \text{ kN/m}^2$

$F_{pi} = 0.4 \cdot a_p \cdot S_{ps} \cdot \omega_p \cdot (1 + 2(z/h)) / (R_p / I_p) = 0.612 \text{ kN/m}^2$

- 수직지진하중

수직지진하중(E_v) : $0.2 \cdot S_{ps} \cdot \omega_p = 0.153 \text{ kN/m}^2$

- 풍하중 : 부분개방형 건축물, 탁월한 개구부 없는 경우

중요도계수 (I_w) : 0.95

기본풍속 (V_o) : 34 m/s

지표면조도분류 : C

지형계수 K_{zt} : 1

지붕의 평균높이 (h) : 24.70 (20m 이상)

지면에서 부재까지의 거리(z) : 25.80 m

기준경도풍 높이 (Z_o) : 350 m

대기경계층 시작높이(z_h) : 10 m

풍속고도분포지수 (α) : 0.15 m

K_{zt} : 1.16

$V_h (=V_o \cdot K_{zt} \cdot K_{zt} \cdot I_w)$: 37.34 m/s

q_m : 0.851 kN/m²

GC_{pi} : 0.830, -0.830

$GC_{pe_{sid}}$: 1.500, -1.600

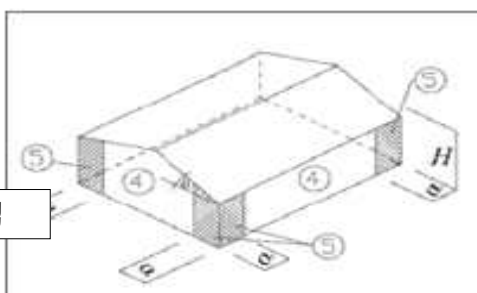
$GC_{pe_{is}}$: 1.500, -2.800

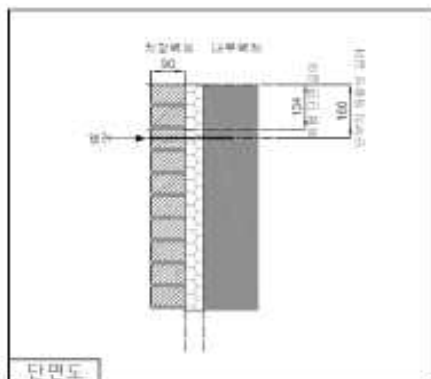
W_4 : 1.982 kN/m² (정압), -2.067 kN/m² (부압)

W_5 : 1.982 kN/m² (정압), -3.088 kN/m² (부압)

2-1. 풍하중의 하중 비교 (kN/m²)

하중종류		1.0E	1.0E*Op	1.0W	1.3W	지배하중
백면 (4)	치장 조적벽 설계	0.612	-	2.067	2.687	1.3W
	연결철물(영커) 설계	-	1.225	2.067	2.687	1.3W
백면 (5)	치장 조적벽 설계	0.612	-	3.088	4.014	1.3W
	연결철물(영커) 설계	-	1.225	3.088	4.014	1.3W





구조검토 조건사항

1. 본 구조경도는 치장조적 벽돌이 고정되어있는 내부벽체가 내전에 대하여 구조적으로 안전할 경우에 한함.

3. 치질 조절백 회경도 검토

$$L = 0.160 \text{ m}$$
 (단부의 외필보(캔틸레버)구간의 길이를 연결철물 수직간격의 절반으로 가정)

$$q_{\text{eff}} = 1.204 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{cl}} = 100 \cdot 1^{-0.2/2}$$

$$= 0.015 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S = 1/(V/2) = (bt^3/12)/(V/2) = bt^2/6$$

$$= 0.000455 \text{ m}^3$$

$$y = 45 \text{ mm}$$

$\phi = 0.6$

$$f_r = 70 \text{ kN/m}^2$$

OMn = 0.017 > 0.015 OK

91%

상태판정 결과



(1994)

E 300 (지식간격)

190

1:90

n: 57

4:0

(비보강조적조의 혈에 대한 강도감소계수)

(보통 조적개채와 줄눈에 열화가 나타나지 않고 육안으로 확인되는 미세한 균열이 있는 경우)

따라서, 연결절물은 설계강도(인발)

0.36 kN 이상의 것을 사용하여야 한다.

설치된 앵커의 연벌강도

$$2.37 \text{ kN} > 0.36 \text{ kN}$$

... OK

인발강도 결과